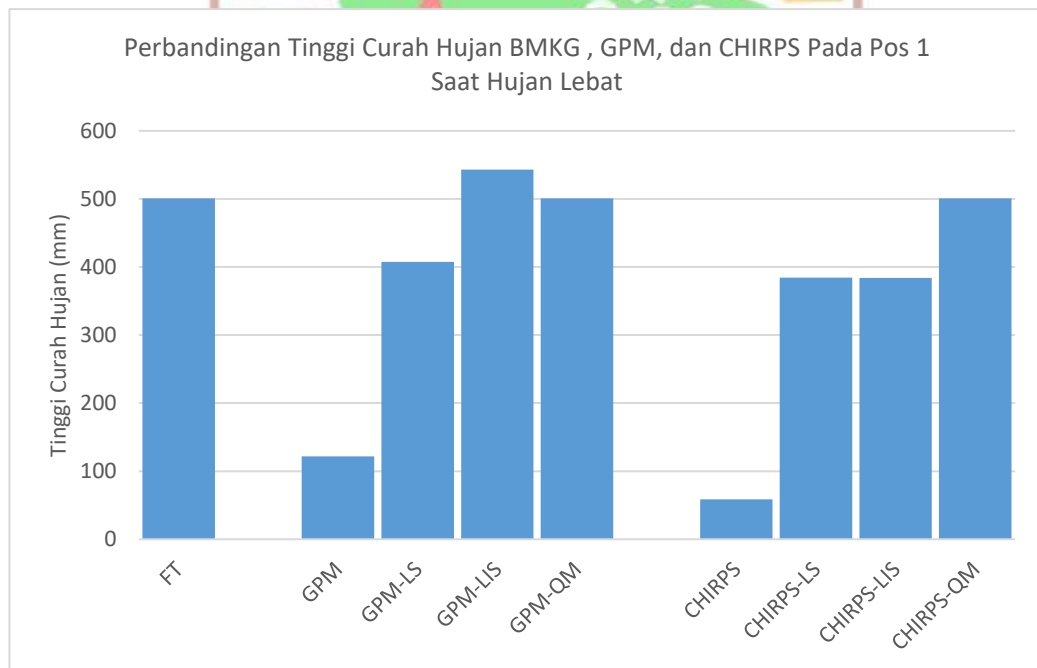


## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perbandingan Curah Hujan Ekstrem Observasi dengan GPM dan CHIRPS Menggunakan Berbagai Metode Koreksi Bias

#### 4.1.1 Pos 1 (Fakultas Teknik Universitas Andalas) di Daerah Pegunungan

Perbandingan curah hujan ekstrem antara data observasi dengan data *Global Precipitation Measurement* (GPM) dan *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station* (CHIRPS), baik sebelum maupun setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), *Local Intensity Scaling* (LIS), dan *Quantile Mapping* (QM) pada Pos 1 (Fakultas Teknik Universitas Andalas) disajikan pada **Gambar 4.1**.



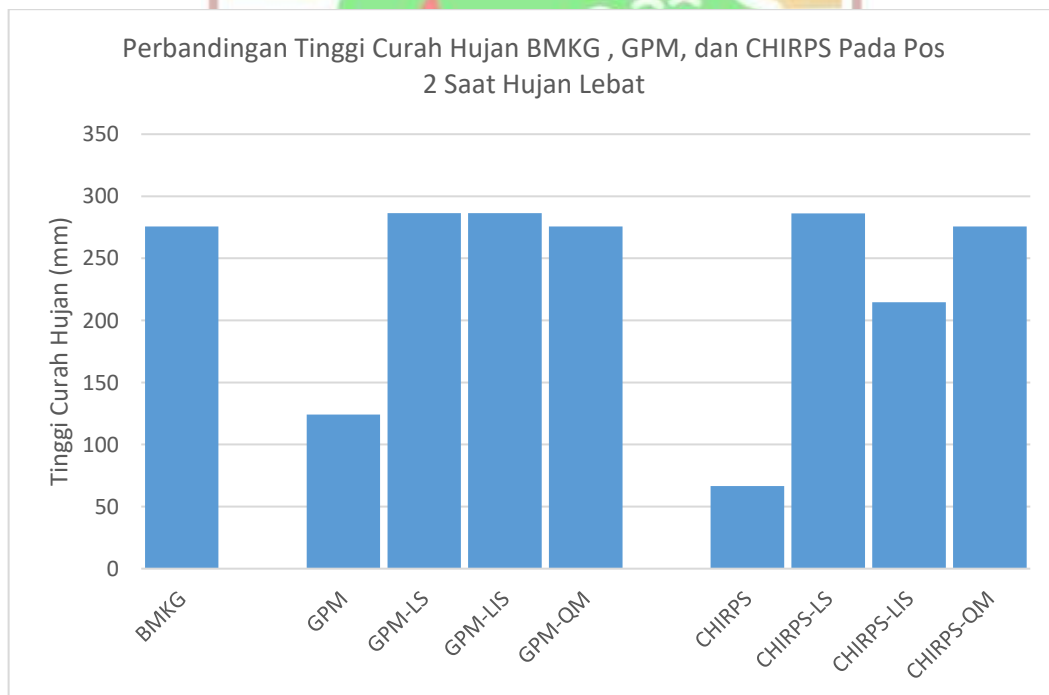
**Gambar 4.1** Perbandingan Curah Hujan Ekstrem Observasi, GPM, dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Pos 1 (Fakultas Teknik Universitas Andalas)

Pada daerah pegunungan (Pos 1), curah hujan ekstrem observasi mencapai 500,70 mm. Data GPM dan CHIRPS sebelum koreksi bias masing-masing hanya menghasilkan 121,74 mm dan 58,77 mm, sehingga keduanya mengalami *underestimate* yang cukup besar. Setelah koreksi bias, GPM-LS menghasilkan 407,66 mm, GPM-LIS 543,23 mm, dan GPM-QM 500,70 mm.

Dari ketiga metode tersebut, QM memberikan hasil paling mendekati observasi, sedangkan LIS sedikit *overestimate* dan LS masih *underestimate*. Pola serupa terlihat pada CHIRPS, yaitu LS sebesar 384,192 mm, LIS 383,970 mm, dan QM 500,700 mm. Dengan demikian, pada wilayah pegunungan, QM menunjukkan hasil yang paling sesuai untuk GPM maupun CHIRPS dalam merepresentasikan curah hujan ekstrem.

#### 4.1.2 Pos 2 (BMKG Teluk Bayur) di Daerah Pesisir

Perbandingan curah hujan ekstrem antara data observasi dengan data GPM dan CHIRPS, baik sebelum maupun setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), *Local Intensity Scaling* (LIS), dan *Quantile Mapping* (QM) pada Pos 2 (BMKG Teluk Bayur) disajikan pada **Gambar 4.2**.



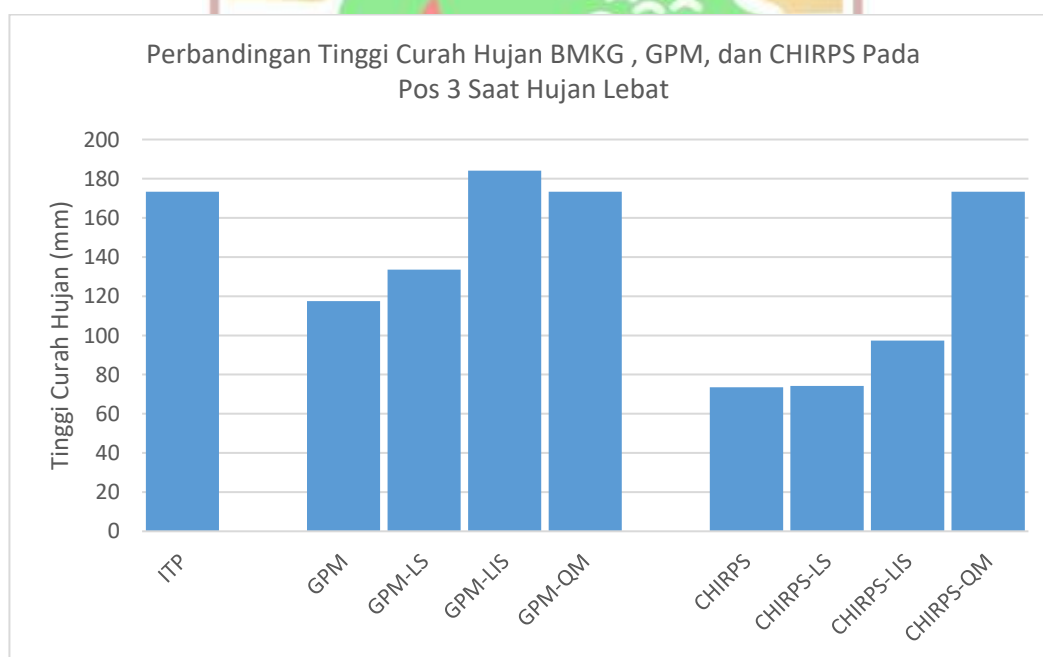
**Gambar 4.2** Perbandingan Curah Hujan Ekstrem Observasi, GPM, dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Pos 2 (BMKG Teluk Bayur)

Pada daerah pesisir (Pos 2), nilai curah hujan ekstrem observasi sebesar 275,60 mm, sedangkan GPM dan CHIRPS sebelum koreksi masing-masing hanya sebesar 124,21 mm dan 66,47 mm. Setelah koreksi bias, GPM-LS menghasilkan 286,49 mm, GPM-LIS 286,49 mm, dan GPM-QM 275,60 mm. Meskipun LS dan LIS sudah cukup mendekati observasi, QM memberikan

nilai yang paling sesuai karena sama dengan nilai observasi. Pada CHIRPS, metode LS menghasilkan 286,18 mm, LIS 214,63 mm, dan QM 275,60 mm. Metode QM kembali menjadi metode yang paling mendekati observasi. Oleh karena itu, pada wilayah pesisir, QM memberikan hasil terbaik pada GPM maupun CHIRPS, sementara LS juga menunjukkan hasil yang relatif dekat dengan observasi.

#### 4.1.3 Pos 3 (Kampus 2 ITP) di Daerah Transisi

Perbandingan curah hujan ekstrem antara data observasi dengan data GPM dan CHIRPS, baik sebelum maupun setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), *Local Intensity Scaling* (LIS), dan *Quantile Mapping* (QM) pada Pos 3 (Kampus 2 ITP) disajikan pada **Gambar 4.3**.



**Gambar 4.3** Perbandingan Curah Hujan Ekstrem Observasi, GPM, dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Pos 3 (Kampus 2 ITP)

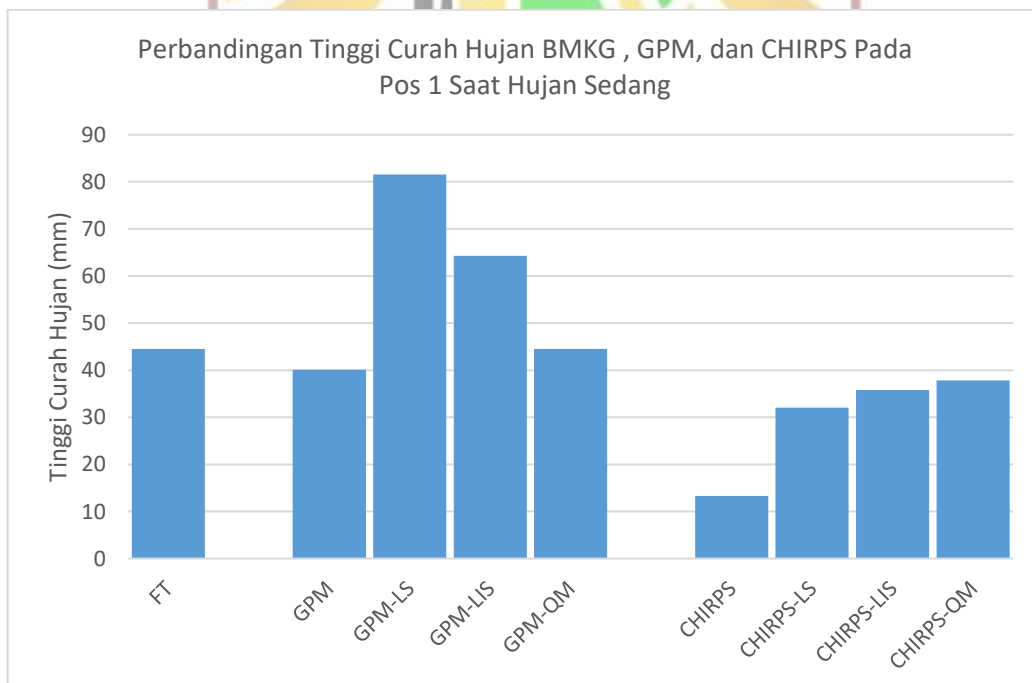
Pada daerah transisi (Pos 3), nilai curah hujan ekstrem observasi sebesar 173,40 mm. Data GPM sebelum koreksi menghasilkan 117,50 mm, sedangkan CHIRPS sebesar 73,51 mm, sehingga keduanya masih mengalami *underestimate*. Setelah koreksi bias, GPM-LS menghasilkan 133,62 mm, GPM-LIS 184,17 mm, dan GPM-QM 173,40 mm. Metode QM

menghasilkan nilai yang sama dengan observasi, sementara LIS juga relatif dekat tetapi sedikit *overestimate*. Pada CHIRPS, LS menghasilkan 74,19 mm, LIS 97,31 mm, dan QM 173,40 mm. Terlihat bahwa LS dan LIS pada CHIRPS masih cukup jauh di bawah nilai observasi, sedangkan QM mampu menghasilkan nilai yang paling mendekati observasi. Dengan demikian, untuk wilayah transisi, QM juga menunjukkan hasil yang paling sesuai pada GPM dan CHIRPS.

#### 4.2 Perbandingan Curah Hujan Sedang Observasi dengan GPM dan CHIRPS Menggunakan Berbagai Metode Koreksi Bias

##### 4.2.1 Pos 1 (Fakultas Teknik Universitas Andalas) di Daerah Pegunungan

Perbandingan curah hujan sedang antara data observasi dengan data GPM dan CHIRPS, baik sebelum maupun setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), *Local Intensity Scaling* (LIS), dan *Quantile Mapping* (QM) pada Pos 1 (Fakultas Teknik Universitas Andalas) disajikan pada **Gambar 4.4**.

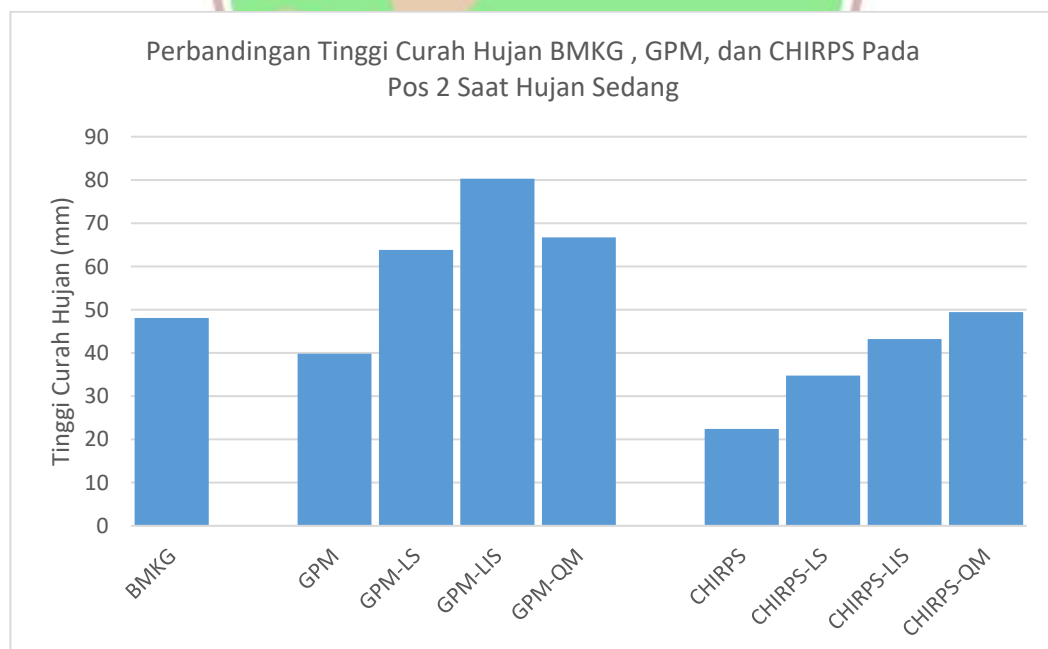


**Gambar 4.4** Perbandingan Curah Hujan Sedang Observasi, GPM, dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Pos 1 (Fakultas Teknik Universitas Andalas)

Pada daerah pegunungan (Pos 1), nilai observasi sebesar 44,50 mm. Untuk data GPM, metode QM memberikan hasil terbaik karena menghasilkan nilai 44,50 mm, sama dengan observasi. Metode LS dan LIS justru menghasilkan nilai yang lebih tinggi, masing-masing 81,55 mm dan 64,26 mm. Pada CHIRPS, metode QM juga memberikan hasil yang paling mendekati observasi, yaitu 37,80 mm, dibandingkan LS sebesar 32,03 mm dan LIS sebesar 35,76 mm. Dengan demikian, metode QM cenderung paling sesuai untuk wilayah pegunungan, baik pada GPM maupun CHIRPS. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan yang menyesuaikan distribusi data seperti *Quantile Mapping* mampu memberikan koreksi yang lebih baik pada kondisi curah hujan yang dipengaruhi oleh topografi pegunungan.

#### 4.2.2 Pos 2 (BMKG Teluk Bayur) di Daerah Pesisir

Perbandingan curah hujan sedang antara data observasi dengan data GPM dan CHIRPS, baik sebelum maupun setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), *Local Intensity Scaling* (LIS), dan *Quantile Mapping* (QM) pada Pos 2 (BMKG Teluk Bayur) disajikan pada **Gambar 4.5**.

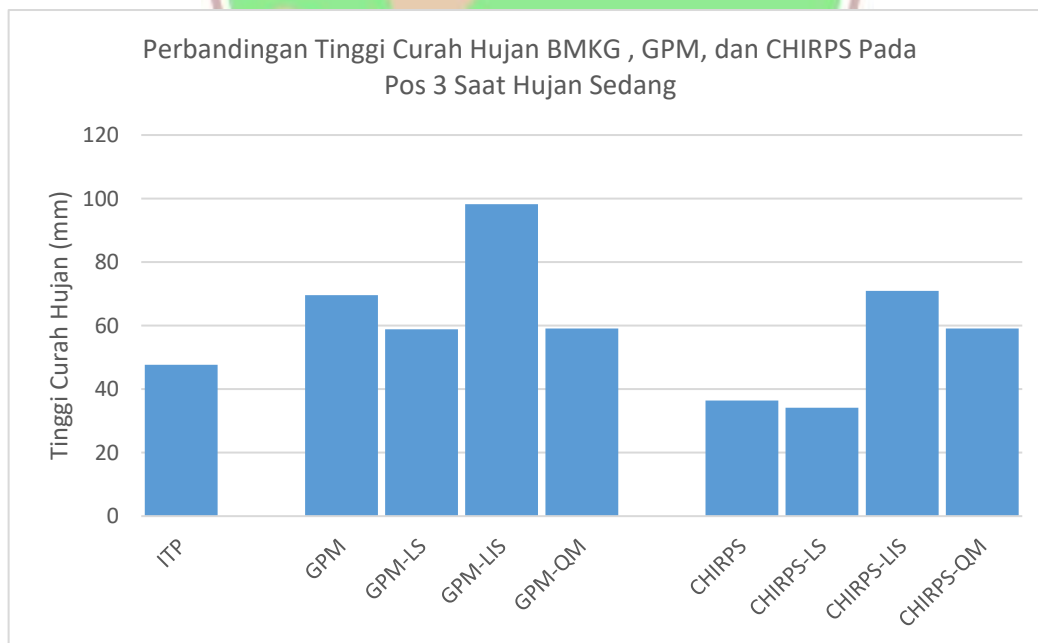


**Gambar 4.5** Perbandingan Curah Hujan Sedang Observasi, GPM, dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Pos 2 (BMKG Teluk Bayur)

Pada daerah pesisir (Pos 2), nilai observasi sebesar 48,10 mm. Hasil koreksi pada GPM menunjukkan bahwa metode LS memberikan nilai yang paling dekat dengan observasi, yaitu 63,80 mm, dibandingkan LIS sebesar 80,30 mm dan QM sebesar 66,70 mm. Walaupun seluruh metode masih menghasilkan nilai yang lebih tinggi daripada observasi, LS memiliki penyimpangan paling kecil di antara metode koreksi GPM. Berbeda dengan GPM, pada CHIRPS metode QM menunjukkan hasil yang sangat baik, yaitu 49,43 mm, dengan selisih hanya sekitar 1,33 mm dari observasi. Sementara itu, LS menghasilkan 34,76 mm dan LIS 43,18 mm. Oleh karena itu, untuk wilayah pesisir, metode LS lebih sesuai pada GPM, sedangkan QM lebih sesuai pada CHIRPS.

#### 4.2.3 Pos 3 (Kampus 2 ITP) di Daerah Transisi

Perbandingan curah hujan sedang antara data observasi dengan data GPM dan CHIRPS, baik sebelum maupun setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), *Local Intensity Scaling* (LIS), dan *Quantile Mapping* (QM) pada Pos 3 (Kampus 2 ITP) disajikan pada **Gambar 4.6**.



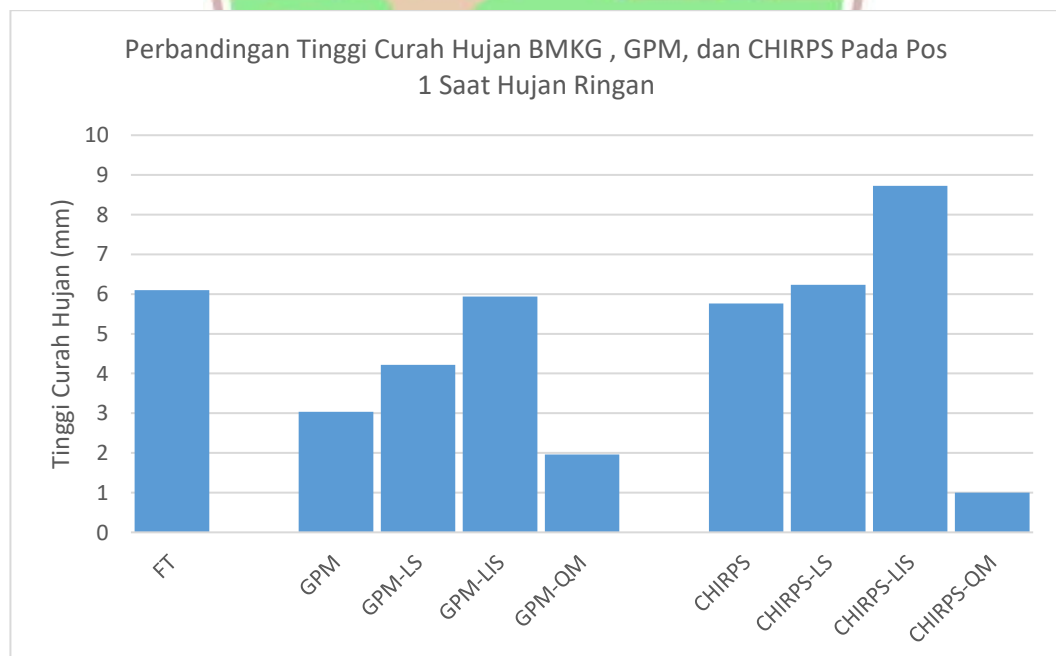
**Gambar 4.6** Perbandingan Curah Hujan Sedang Observasi, GPM, dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Pos 3 (Kampus 2 ITP)

Pada daerah transisi (Pos 3), nilai observasi sebesar 47,70 mm. Pada GPM, metode LS memberikan hasil yang paling dekat dengan observasi sebesar 58,805 mm, sedikit lebih baik dibandingkan QM sebesar 59,10 mm, sedangkan LIS menghasilkan nilai yang jauh lebih tinggi sebesar 98,27 mm. Pada CHIRPS, metode QM memberikan hasil koreksi yang paling dekat dengan observasi, yaitu 59,10 mm, dibandingkan LS sebesar 34,14 mm dan LIS sebesar 70,96 mm. Dengan demikian, pada wilayah transisi, metode LS lebih baik untuk GPM, sedangkan QM lebih baik untuk CHIRPS.

#### 4.3 Perbandingan Curah Hujan Ringan Observasi dengan GPM dan CHIRPS Menggunakan Berbagai Metode Koreksi Bias

##### 4.3.1 Pos 1 (Fakultas Teknik Universitas Andalas) di Daerah Pegunungan

Perbandingan curah hujan ringan antara data observasi dengan data GPM dan CHIRPS, baik sebelum maupun setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), *Local Intensity Scaling* (LIS), dan *Quantile Mapping* (QM) pada Pos 1 (Fakultas Teknik Universitas Andalas) disajikan pada **Gambar 4.7**.

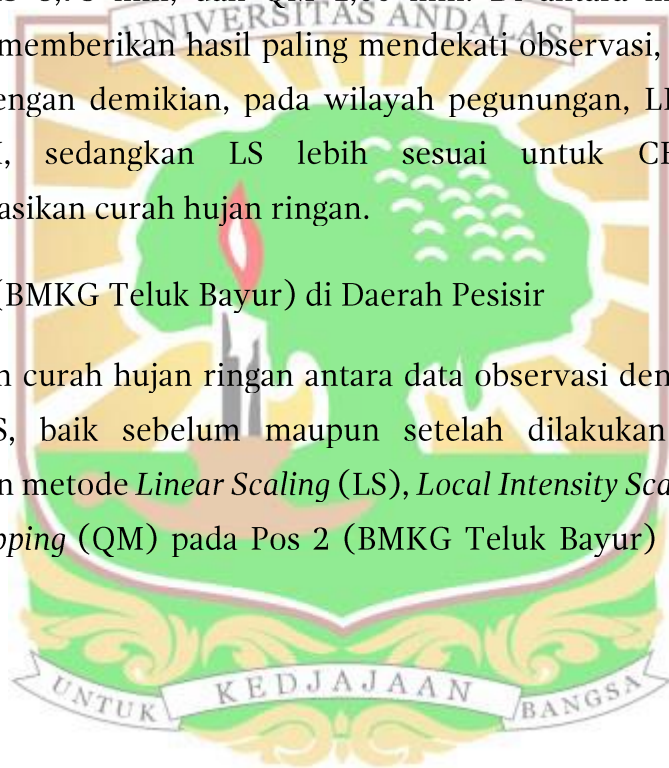


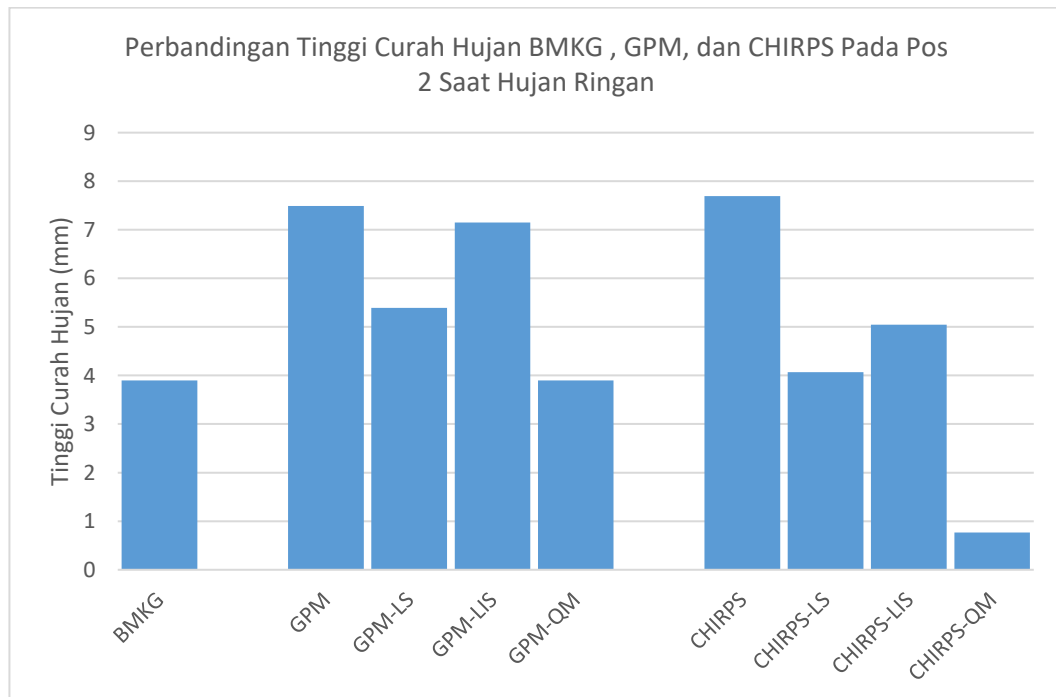
**Gambar 4.7** Perbandingan Curah Hujan Ringan Observasi, GPM, dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Pos 1 (Fakultas Teknik Universitas Andalas)

Pada daerah pegunungan (Pos 1), nilai curah hujan ringan berdasarkan data observasi sebesar 6,100 mm. Data GPM sebelum koreksi bias menghasilkan nilai 3,04 mm, yang menunjukkan kondisi *underestimate*. Setelah dilakukan koreksi bias, GPM-LS menghasilkan 4,22 mm, GPM-LIS 5,94 mm, dan GPM-QM 1,96 mm. Dari ketiga metode tersebut, LIS memberikan hasil paling mendekati observasi, dengan selisih hanya 0,16 mm. Sementara itu, QM justru menghasilkan nilai yang semakin rendah dibandingkan observasi. Pada CHIRPS, data sebelum koreksi sebesar 5,76 mm sebenarnya sudah cukup dekat dengan observasi. Setelah koreksi, CHIRPS-LS menghasilkan 6,23 mm, LIS 8,73 mm, dan QM 1,00 mm. Di antara metode koreksi tersebut, LS memberikan hasil paling mendekati observasi, dengan selisih 0,13 mm. Dengan demikian, pada wilayah pegunungan, LIS lebih sesuai untuk GPM, sedangkan LS lebih sesuai untuk CHIRPS dalam merepresentasikan curah hujan ringan.

#### 4.3.2 Pos 2 (BMKG Teluk Bayur) di Daerah Pesisir

Perbandingan curah hujan ringan antara data observasi dengan data GPM dan CHIRPS, baik sebelum maupun setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), *Local Intensity Scaling* (LIS), dan *Quantile Mapping* (QM) pada Pos 2 (BMKG Teluk Bayur) disajikan pada **Gambar 4.8**.



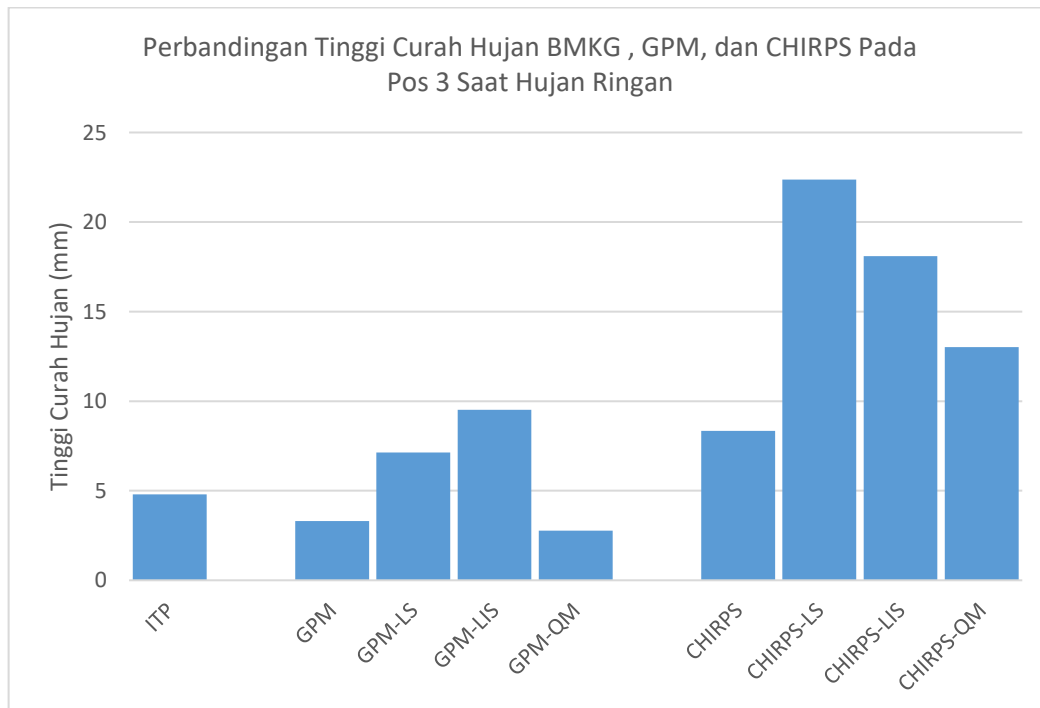


**Gambar 4.8** Perbandingan Curah Hujan Ringan Observasi, GPM, dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Pos 2 (BMKG Teluk Bayur)

Pada daerah pesisir (Pos 2), nilai observasi sebesar 3,90 mm. Berbeda dengan Pos 1, data GPM sebelum koreksi menghasilkan 7,49 mm, sehingga menunjukkan *overestimate*. Setelah koreksi bias, GPM-LS menghasilkan 5,39 mm, GPM-LIS 7,15 mm, sedangkan GPM-QM menghasilkan 3,90 mm. Dengan demikian, QM memberikan hasil paling mendekati observasi untuk GPM, bahkan menghasilkan nilai yang sama dengan observasi. Pada CHIRPS, nilai sebelum koreksi sebesar 7,70 mm juga menunjukkan *overestimate*. Setelah koreksi, metode LS menghasilkan 4,07 mm, LIS 5,04 mm, dan QM 0,76 mm. Dari ketiga metode tersebut, LS merupakan metode yang paling mendekati observasi, dengan selisih hanya 0,17 mm. Oleh karena itu, pada wilayah pesisir, metode yang cenderung lebih sesuai adalah QM untuk GPM dan LS untuk CHIRPS.

#### 4.3.3 Pos 3 (Kampus 2 ITP) di Daerah Transisi

Perbandingan curah hujan ringan antara data observasi dengan data GPM dan CHIRPS, baik sebelum maupun setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), *Local Intensity Scaling* (LIS), dan *Quantile Mapping* (QM) pada Pos 3 (Kampus 2 ITP) disajikan pada **Gambar 4.9**.



**Gambar 4.9** Perbandingan Curah Hujan Ringan Observasi, GPM, dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Pos 3 (Kampus 2 ITP)

Pada daerah transisi (Pos 3), nilai curah hujan ringan observasi sebesar 4,80 mm. Data GPM sebelum koreksi menghasilkan 3,31 mm, sehingga mengalami *underestimate*. Setelah koreksi, GPM-LS menghasilkan 7,13 mm, GPM-LIS 9,52 mm, dan GPM-QM 2,77 mm. Berdasarkan selisih terhadap observasi, QM merupakan metode koreksi yang paling mendekati observasi, dengan selisih sekitar 2,03 mm, meskipun nilai GPM tanpa koreksi sebenarnya lebih dekat terhadap observasi dengan selisih 1,50 mm. Hal ini menunjukkan bahwa pada Pos 3, penerapan metode koreksi yang diuji belum memberikan perbaikan dibandingkan data GPM asli untuk kategori hujan ringan.

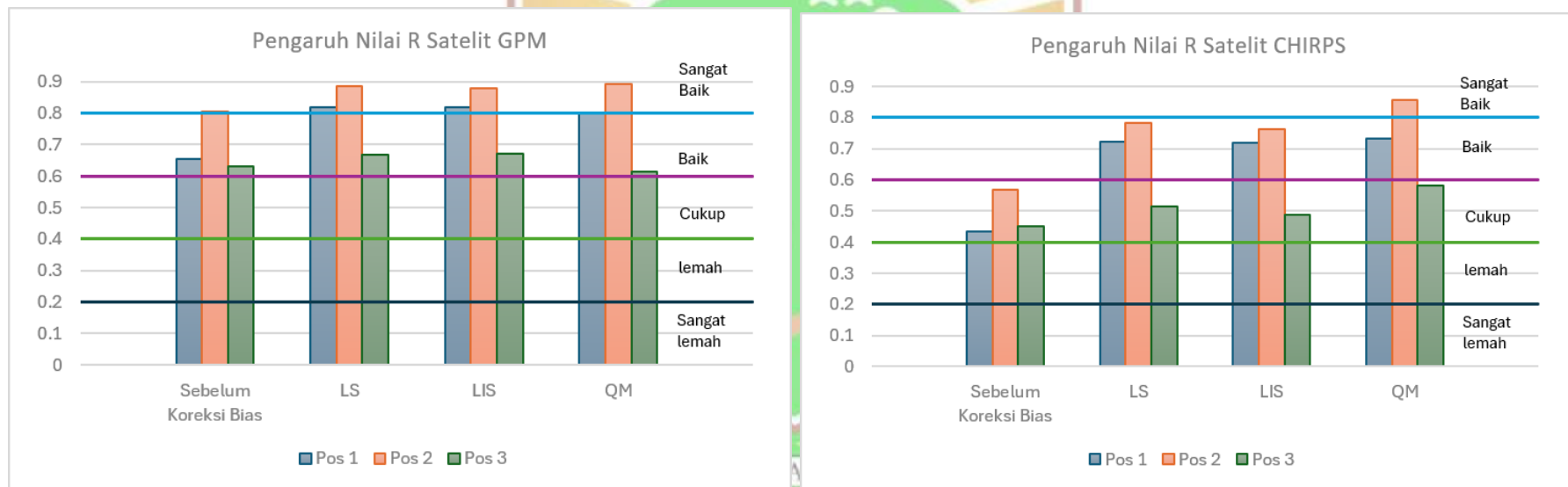
#### 4.4 Hasil Validasi Data Curah Hujan Lapangan dan Curah Hujan Satelit (GPM & CHIRPS)

Subbab ini menyajikan hasil validasi data curah hujan satelit GPM dan CHIRPS terhadap data curah hujan lapangan pada setiap pos pengamatan. Validasi dilakukan menggunakan parameter statistik, yaitu koefisien korelasi ( $R$ ), *Normalized Root Mean Square Error* (NRMSE), *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE), *Mean Bias Error* (MBE), *Nash–Sutcliffe Efficiency* (NSE), *Relative Bias* (RB), *Probability of Detection* (POD), *False Alarm Ratio* (FAR), dan *Critical Success Index* (CSI). Hasil validasi dibandingkan antara kondisi sebelum koreksi bias dan setelah penerapan metode *Linear Scaling* (LS), *Quantile Mapping* (QM), serta *Local Intensity Scaling* (LIS) untuk mengevaluasi efektivitas masing-masing metode dalam meningkatkan akurasi data curah hujan satelit.



#### 4.4.1 Hasil Koefisien Korelasi Pearson (R)

Hasil validasi menggunakan koefisien korelasi Pearson (R) digunakan untuk mengetahui tingkat keeratan hubungan antara data curah hujan observasi dengan data satelit GPM dan CHIRPS pada masing-masing pos pengamatan. Perbandingan nilai koefisien korelasi sebelum dan setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode Linear Scaling (LS), Local Intensity Scaling (LIS), dan Quantile Mapping (QM) disajikan pada **Gambar 4.10**.



**Gambar 4.10** Perbandingan Nilai Koefisien Korelasi Pearson (R) Data GPM dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Setiap Pos Pengamatan

Nilai koefisien korelasi Pearson (R) secara lebih rinci untuk data GPM dan CHIRPS pada masing-masing pos pengamatan, baik sebelum maupun setelah penerapan metode koreksi bias LS, LIS, dan QM, disajikan pada **Tabel 4.1**.

**Tabel 4.1** Nilai Koefisien Korelasi Pearson (R) Data GPM dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Setiap Pos Pengamatan

| R     | Sebelum Koreksi Bias |        | LS   |        | LIS  |        | QM   |        |
|-------|----------------------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
|       | GPM                  | CHIRPS | GPM  | CHIRPS | GPM  | CHIRPS | GPM  | CHIRPS |
| Pos 1 | 0,66                 | 0,43   | 0,82 | 0,72   | 0,82 | 0,72   | 0,80 | 0,73   |
| Pos 2 | 0,81                 | 0,57   | 0,88 | 0,78   | 0,88 | 0,76   | 0,89 | 0,86   |
| Pos 3 | 0,63                 | 0,45   | 0,67 | 0,52   | 0,66 | 0,49   | 0,61 | 0,58   |

Berdasarkan Gambar dan Tabel di atas, nilai koefisien korelasi Pearson (R) digunakan untuk mengevaluasi tingkat hubungan antara data curah hujan satelit GPM dan CHIRPS terhadap data curah hujan observasi sebelum dan sesudah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), *Local Intensity Scaling* (LIS), dan *Quantile Mapping* (QM). Semakin mendekati nilai satu, maka semakin kuat hubungan antara data satelit dan data observasi, yang menunjukkan bahwa data satelit semakin mampu merepresentasikan pola curah hujan di lokasi penelitian.

Sebelum dilakukan koreksi bias, data satelit GPM menunjukkan hubungan yang lebih baik dengan data observasi dibandingkan CHIRPS. Nilai koefisien korelasi GPM berada pada kisaran 0,63–0,81, sedangkan CHIRPS hanya berkisar 0,43–0,57. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa secara umum GPM memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menggambarkan variasi curah hujan di Kota Padang, meskipun kedua produk satelit masih mengalami bias yang menyebabkan perlunya dilakukan proses koreksi.

Setelah dilakukan koreksi bias, seluruh metode mampu meningkatkan nilai koefisien korelasi pada kedua produk satelit. Pada data GPM, metode LS menghasilkan nilai korelasi sebesar 0,82, 0,88, dan 0,67 pada Pos 1, Pos 2, dan Pos 3. Metode LIS menghasilkan nilai yang hampir sama, yaitu 0,82, 0,88, dan 0,66, sedangkan metode QM menghasilkan nilai 0,80, 0,89, dan 0,61. Pada data CHIRPS, metode LS menghasilkan nilai korelasi 0,72, 0,78, dan 0,52, metode LIS sebesar 0,72, 0,76, dan 0,49, sedangkan metode QM memberikan nilai tertinggi pada seluruh pos, yaitu 0,73, 0,86, dan 0,58.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat satu metode koreksi bias yang selalu memberikan hasil terbaik pada seluruh lokasi pengamatan, khususnya pada data GPM. Pada Pos 1, metode LS dan LIS menghasilkan nilai korelasi tertinggi ( $R = 0,82$ ), sedangkan pada Pos 2 metode QM memberikan nilai tertinggi ( $R = 0,89$ ). Sementara itu, pada Pos 3 metode LS menghasilkan nilai korelasi terbaik ( $R = 0,67$ ). Sebaliknya, pada data CHIRPS, metode QM secara konsisten menghasilkan nilai korelasi tertinggi pada ketiga pos pengamatan.

Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa efektivitas metode koreksi bias dipengaruhi oleh karakteristik wilayah pengamatan, bukan hanya oleh metode koreksi yang digunakan. Berdasarkan kondisi topografi, Pos 1 terletak pada daerah perbukitan dengan elevasi sekitar 292 mdpl, sedangkan Pos 2 dan Pos 3 berada pada dataran rendah pesisir dengan elevasi masing-masing 2 mdpl dan 9 mdpl. Wilayah perbukitan memiliki pola hujan yang dipengaruhi oleh proses orografis sehingga distribusi curah hujan cenderung lebih bervariasi dalam ruang maupun waktu. Kondisi tersebut menyebabkan data satelit lebih sulit merepresentasikan curah hujan pada satu titik pengamatan. Hal ini diduga menjadi alasan mengapa pada Pos 1 metode LS dan LIS memberikan hasil yang sedikit lebih baik dibandingkan QM.

Di sisi lain, Pos 2 yang berada pada wilayah pesisir menunjukkan nilai korelasi tertinggi setelah dilakukan koreksi bias. Berdasarkan peta grid satelit, area yang direpresentasikan oleh grid pada Pos 2 didominasi oleh

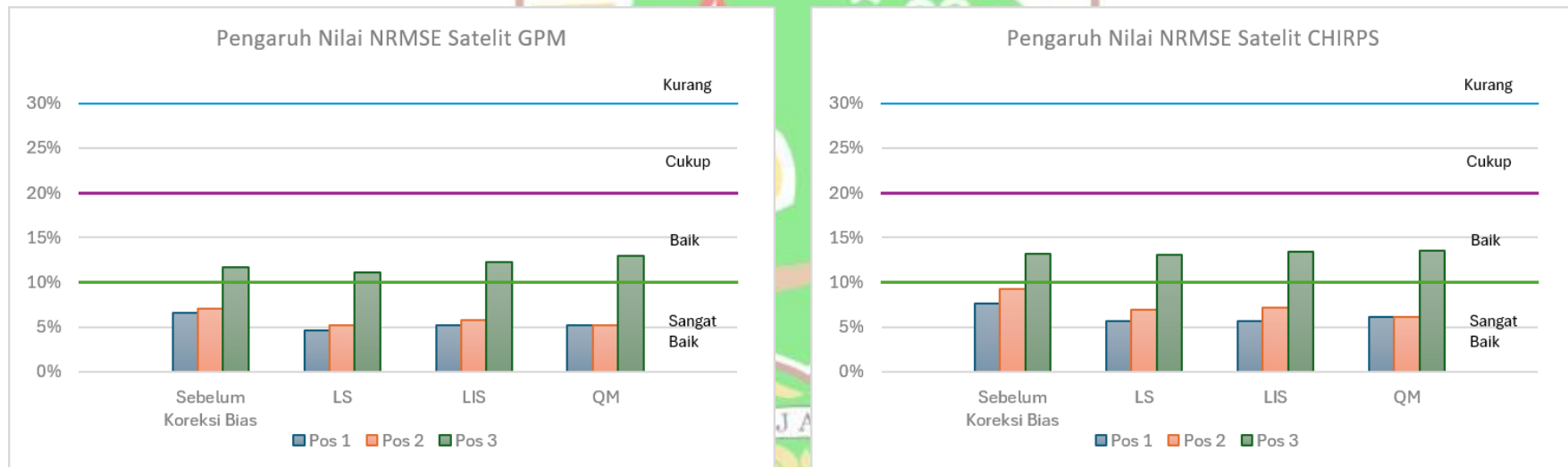
wilayah pesisir dan dataran rendah dengan kondisi topografi yang relatif homogen. Kondisi tersebut menyebabkan nilai curah hujan hasil satelit lebih representatif terhadap pengukuran curah hujan di stasiun, sehingga peningkatan nilai koefisien korelasi setelah koreksi bias menjadi lebih tinggi dibandingkan lokasi lainnya.

Meskipun Pos 3 juga berada pada dataran rendah dengan elevasi hanya 9 mdpl, nilai koefisien korelasinya lebih rendah dibandingkan Pos 2. Hasil ini menunjukkan bahwa elevasi stasiun bukan merupakan satu-satunya faktor yang memengaruhi tingkat kesesuaian data satelit dengan data observasi. Berdasarkan Gambar 3.3, grid satelit yang mencakup Pos 3 merepresentasikan wilayah yang lebih heterogen dibandingkan Pos 2 karena meliputi kawasan pesisir, dataran perkotaan, serta bagian kaki perbukitan. Heterogenitas tersebut menyebabkan nilai curah hujan satelit merupakan hasil rata-rata spasial dari beberapa karakteristik permukaan yang berbeda, sedangkan alat ukur hujan hanya merekam curah hujan pada satu titik pengamatan. Akibatnya, tingkat kesesuaian antara data satelit dan data observasi pada Pos 3 menjadi lebih rendah dibandingkan Pos 2, meskipun kedua lokasi memiliki elevasi yang hampir sama.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh metode koreksi bias berhasil meningkatkan nilai koefisien korelasi Pearson pada data GPM maupun CHIRPS. Namun demikian, efektivitas masing-masing metode dipengaruhi oleh karakteristik topografi wilayah. Pada wilayah pegunungan, metode LS dan LIS memberikan hasil yang sedikit lebih baik untuk data GPM, sedangkan pada wilayah pesisir metode QM memberikan hasil terbaik pada Pos 2. Sementara itu, Pos 3 menunjukkan bahwa heterogenitas topografi dalam satu grid satelit dapat menjadi faktor yang memengaruhi kinerja koreksi bias, sehingga perbedaan akurasi data satelit tidak hanya ditentukan oleh elevasi stasiun, tetapi juga oleh kondisi spasial wilayah yang direpresentasikan oleh setiap grid satelit.

#### 4.4.2 Hasil *Normalized Root Mean Square Error* (NRMSE)

Hasil validasi menggunakan *Normalized Root Mean Square Error* (NRMSE) digunakan untuk mengetahui besarnya tingkat kesalahan antara data curah hujan satelit GPM dan CHIRPS terhadap data curah hujan observasi pada masing-masing pos pengamatan. Semakin kecil nilai NRMSE, maka semakin kecil tingkat kesalahan data satelit terhadap data observasi. Perbandingan nilai NRMSE sebelum dan setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), *Local Intensity Scaling* (LIS), dan *Quantile Mapping* (QM) disajikan pada **Gambar 4.11**.

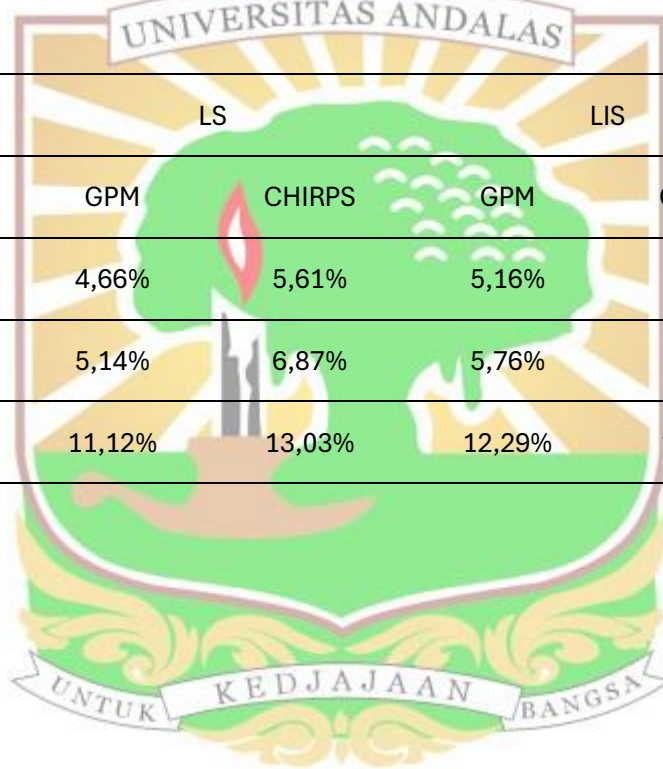


**Gambar 4.11** Perbandingan Nilai *Normalized Root Mean Square Error* (NRMSE) Data GPM dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Setiap Pos Pengamatan

Nilai *Normalized Root Mean Square Error* (NRMSE) secara lebih rinci untuk data GPM dan CHIRPS pada masing-masing pos pengamatan, baik sebelum maupun setelah penerapan metode koreksi bias LS, LIS, dan QM, disajikan pada **Tabel 4.2**.

**Tabel 4.2** Nilai *Normalized Root Mean Square Error* (NRMSE) Data GPM dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Setiap Pos Pengamatan.

| NRMSE | Sebelum Koreksi Bias |        | LS     |        | LIS    |        | QM     |        |
|-------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|       | GPM                  | CHIRPS | GPM    | CHIRPS | GPM    | CHIRPS | GPM    | CHIRPS |
| Pos 1 | 6,60%                | 7,60%  | 4,66%  | 5,61%  | 5,16%  | 5,67%  | 5,18%  | 6,06%  |
| Pos 2 | 7,07%                | 9,27%  | 5,14%  | 6,87%  | 5,76%  | 7,16%  | 5,20%  | 6,08%  |
| Pos 3 | 11,65%               | 13,22% | 11,12% | 13,03% | 12,29% | 13,39% | 12,95% | 13,50% |



Berdasarkan Gambar dan Tabel di atas, nilai *Normalized Root Mean Square Error* (NRMSE) digunakan untuk mengevaluasi besarnya penyimpangan data curah hujan satelit terhadap data observasi. Berbeda dengan koefisien korelasi Pearson yang menunjukkan tingkat hubungan antara dua data, NRMSE menggambarkan besarnya kesalahan prediksi yang telah dinormalisasi terhadap rentang data. Semakin kecil nilai NRMSE, maka semakin baik kemampuan data satelit dalam merepresentasikan curah hujan observasi.

Sebelum dilakukan koreksi bias, data satelit GPM memiliki nilai NRMSE yang lebih rendah dibandingkan CHIRPS pada seluruh pos pengamatan. Nilai NRMSE GPM berkisar antara 6,60–11,65%, sedangkan CHIRPS berkisar antara 7,60–13,22%. Hasil ini menunjukkan bahwa secara umum GPM memiliki tingkat kesalahan yang lebih kecil dibandingkan CHIRPS dalam mengestimasi curah hujan di Kota Padang.

Penerapan metode koreksi bias berhasil menurunkan nilai NRMSE pada sebagian besar lokasi pengamatan. Pada data GPM, metode *Linear Scaling* (LS) menghasilkan nilai NRMSE sebesar 4,66%, 5,14%, dan 11,12% pada Pos 1, Pos 2, dan Pos 3. Metode *Local Intensity Scaling* (LIS) menghasilkan nilai 5,16%, 5,76%, dan 12,29%, sedangkan metode *Quantile Mapping* (QM) menghasilkan nilai 5,18%, 5,20%, dan 12,95%.

Pada data CHIRPS, metode LS menurunkan nilai NRMSE menjadi 5,61%, 6,87%, dan 13,03%, sedangkan metode LIS menghasilkan nilai 5,67%, 7,16%, dan 13,39%. Metode QM menghasilkan nilai 6,06%, 6,08%, dan 13,50% pada Pos 1, Pos 2, dan Pos 3.

Berdasarkan hasil tersebut, metode LS memberikan nilai NRMSE terendah pada seluruh pos pengamatan untuk data GPM. Pada data CHIRPS, LS juga memberikan hasil terbaik pada Pos 1 dan Pos 3, sedangkan pada Pos 2 metode QM menghasilkan nilai yang sedikit lebih rendah dibandingkan LS. Hal ini menunjukkan bahwa metode LS lebih efektif dalam mengurangi besarnya penyimpangan nilai curah hujan terhadap data observasi dibandingkan metode lainnya.

Jika ditinjau berdasarkan karakteristik lokasi, Pos 1 yang berada pada daerah perbukitan dengan elevasi sekitar 292 mdpl mengalami penurunan NRMSE yang cukup signifikan setelah dilakukan koreksi bias. Meskipun wilayah pegunungan memiliki pola hujan yang lebih kompleks akibat pengaruh orografis, metode LS mampu mengurangi kesalahan estimasi data satelit secara efektif. Hasil ini menunjukkan bahwa koreksi terhadap faktor skala (bias sistematis) cukup mampu memperbaiki estimasi curah hujan pada wilayah dengan topografi tinggi.

Pada Pos 2 yang berada di wilayah pesisir dengan elevasi 2 mdpl, nilai NRMSE setelah koreksi bias merupakan yang terendah dibandingkan pos lainnya. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa data satelit lebih mampu merepresentasikan curah hujan pada wilayah dengan topografi yang relatif homogen. Selain itu, berdasarkan peta grid satelit, area yang direpresentasikan pada Pos 2 didominasi oleh wilayah pesisir dan dataran rendah sehingga nilai curah hujan hasil satelit lebih sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.

Sebaliknya, Pos 3 menunjukkan nilai NRMSE yang relatif tinggi baik sebelum maupun sesudah dilakukan koreksi bias. Meskipun elevasinya hanya 9 mdpl, berdasarkan peta grid satelit Pos 3 berada pada wilayah yang memiliki karakteristik topografi lebih heterogen dibandingkan Pos 2, yaitu mencakup kawasan pesisir, dataran perkotaan, hingga kaki perbukitan. Kondisi tersebut menyebabkan satu grid satelit merepresentasikan wilayah dengan karakteristik hujan yang beragam sehingga nilai curah hujan hasil satelit merupakan hasil rata-rata spasial dari berbagai kondisi topografi. Akibatnya, tingkat kesalahan terhadap data observasi tetap relatif besar meskipun telah dilakukan proses koreksi bias. Hal ini mengindikasikan bahwa heterogenitas topografi dalam satu grid satelit berpengaruh terhadap besarnya nilai kesalahan estimasi curah hujan.

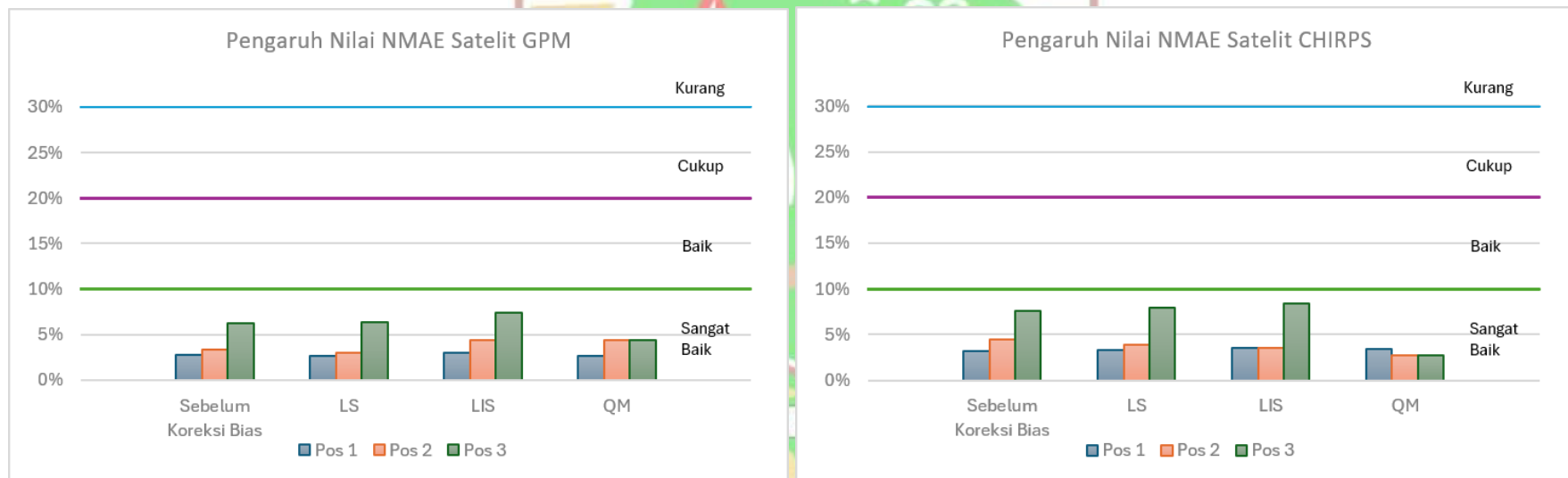
Secara keseluruhan, hasil analisis NRMSE menunjukkan bahwa seluruh metode koreksi bias mampu menurunkan tingkat kesalahan estimasi data satelit dibandingkan sebelum koreksi, meskipun besarnya penurunan berbeda pada setiap lokasi pengamatan. Metode *Linear Scaling* (LS)

merupakan metode yang paling konsisten dalam menghasilkan nilai NRMSE terendah, khususnya pada data GPM. Temuan ini menunjukkan bahwa metode LS lebih efektif dalam mengurangi besarnya penyimpangan nilai curah hujan, sedangkan metode lain tidak selalu memberikan perbaikan yang lebih baik pada seluruh kondisi topografi. Hasil ini juga memperkuat pembahasan pada analisis koefisien korelasi Pearson bahwa karakteristik topografi dan homogenitas wilayah yang direpresentasikan oleh grid satelit merupakan faktor penting yang memengaruhi keberhasilan koreksi bias di Kota Padang.



#### 4.4.3 Hasil *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE)

Hasil validasi menggunakan *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE) digunakan untuk mengetahui besarnya rata-rata kesalahan absolut data curah hujan satelit GPM dan CHIRPS terhadap data curah hujan observasi pada masing-masing pos pengamatan. Semakin kecil nilai NMAE, maka semakin kecil tingkat penyimpangan data satelit terhadap data observasi. Perbandingan nilai NMAE sebelum dan setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), *Local Intensity Scaling* (LIS), dan *Quantile Mapping* (QM) disajikan pada **Gambar 4.12**.

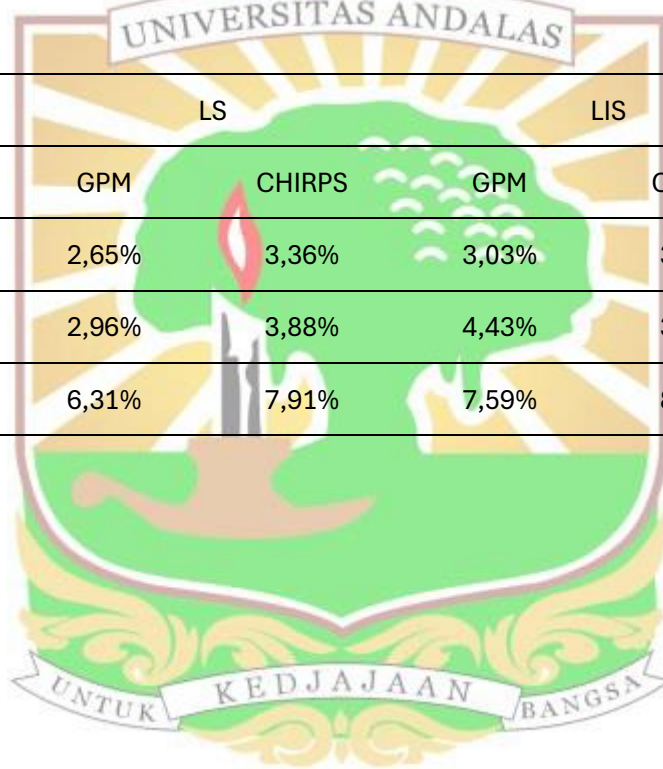


**Gambar 4.12** Perbandingan Nilai *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE) Data GPM dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Setiap Pos Pengamatan

Nilai *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE) secara lebih rinci untuk data GPM dan CHIRPS pada masing-masing pos pengamatan, baik sebelum maupun setelah penerapan metode koreksi bias LS, LIS, dan QM, disajikan pada **Tabel 4.3**.

**Tabel 4.3** Nilai *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE) Data GPM dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Setiap Pos Pengamatan

| NMAE  | Sebelum Koreksi Bias |        | LS    |        | LIS   |        | QM    |        |
|-------|----------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
|       | GPM                  | CHIRPS | GPM   | CHIRPS | GPM   | CHIRPS | GPM   | CHIRPS |
| Pos 1 | 2,77%                | 3,23%  | 2,65% | 3,36%  | 3,03% | 3,52%  | 2,63% | 3,43%  |
| Pos 2 | 3,38%                | 4,47%  | 2,96% | 3,88%  | 4,43% | 3,49%  | 4,43% | 2,68%  |
| Pos 3 | 6,24%                | 7,63%  | 6,31% | 7,91%  | 7,59% | 8,42%  | 6,56% | 7,70%  |



Berdasarkan Gambar dan Tabel di atas, *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE) digunakan untuk mengukur besarnya rata-rata penyimpangan absolut antara data curah hujan satelit dengan data observasi yang telah dinormalisasi. Nilai NMAE menggambarkan tingkat kesalahan rata-rata tanpa memberikan bobot yang lebih besar terhadap kesalahan ekstrem sebagaimana pada NRMSE. Oleh karena itu, semakin kecil nilai NMAE menunjukkan bahwa data satelit semakin mendekati data observasi.

Sebelum dilakukan koreksi bias, data satelit GPM memiliki nilai NMAE yang lebih rendah dibandingkan CHIRPS pada seluruh pos pengamatan. Nilai NMAE GPM berkisar antara 2,77–6,24%, sedangkan CHIRPS berkisar antara 3,23–7,63%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebelum dilakukan koreksi bias, data GPM telah memiliki tingkat penyimpangan rata-rata yang lebih kecil dibandingkan CHIRPS.

Setelah dilakukan koreksi bias, perubahan nilai NMAE menunjukkan bahwa efektivitas masing-masing metode berbeda pada setiap lokasi pengamatan. Pada data GPM, metode LS menurunkan nilai NMAE di Pos 1 dari 2,77% menjadi 2,65% dan di Pos 2 dari 3,38% menjadi 2,96%. Metode QM memberikan nilai NMAE terendah di Pos 1 sebesar 2,63%, sedangkan pada Pos 3 seluruh metode belum mampu menurunkan nilai NMAE dibandingkan kondisi sebelum koreksi. Nilai NMAE pada Pos 3 justru meningkat menjadi 6,31% (LS), 7,59% (LIS), dan 6,56% (QM).

Pada data CHIRPS, metode koreksi bias menunjukkan hasil yang berbeda pada setiap lokasi. Di Pos 1 dan Pos 3, seluruh metode menghasilkan nilai NMAE yang sedikit lebih tinggi dibandingkan sebelum koreksi, sehingga belum mampu memperbaiki tingkat kesalahan rata-rata. Sebaliknya, di Pos 2 seluruh metode berhasil menurunkan nilai NMAE, dengan metode QM memberikan hasil terbaik yaitu 2,68%, lebih rendah dibandingkan LS (3,88%) dan LIS (3,49%).

Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kemampuan metode koreksi bias dipengaruhi oleh karakteristik lokasi pengamatan. Pos 1 terletak pada

daerah perbukitan dengan elevasi sekitar 292 mdpl, sedangkan Pos 2 dan Pos 3 berada pada wilayah pesisir dengan elevasi masing-masing 2 mdpl dan 9 mdpl. Meskipun Pos 1 berada pada wilayah dengan topografi yang lebih kompleks akibat pengaruh orografis, metode LS dan QM masih mampu memperbaiki nilai NMAE pada data GPM. Hal ini menunjukkan bahwa penyimpangan rata-rata pada wilayah pegunungan masih dapat dikurangi melalui proses koreksi bias.

Pos 2 menunjukkan hasil terbaik dibandingkan lokasi lainnya. Berdasarkan peta grid satelit, wilayah yang direpresentasikan oleh grid pada Pos 2 didominasi oleh dataran pesisir dengan kondisi topografi yang relatif homogen. Kondisi tersebut menyebabkan karakteristik curah hujan yang direkam satelit lebih seragam sehingga proses koreksi bias mampu memperbaiki kesesuaian data satelit terhadap data observasi secara lebih efektif. Hasil ini konsisten dengan analisis koefisien korelasi Pearson dan NRMSE yang juga menunjukkan bahwa Pos 2 memiliki performa terbaik setelah dilakukan koreksi bias.

Sebaliknya, Pos 3 menunjukkan nilai NMAE tertinggi baik sebelum maupun sesudah dilakukan koreksi bias. Meskipun elevasi stasiun hanya sekitar 9 mdpl, berdasarkan peta grid satelit Pos 3 berada pada wilayah yang merepresentasikan kondisi topografi yang lebih heterogen dibandingkan Pos 2, yaitu mencakup wilayah pesisir, kawasan perkotaan, dan bagian kaki perbukitan. Heterogenitas tersebut menyebabkan satu grid satelit merepresentasikan karakteristik hujan dari beberapa tipe permukaan sekaligus, sehingga nilai curah hujan hasil satelit merupakan hasil perataan spasial (*spatial averaging*). Akibatnya, proses koreksi bias belum mampu menurunkan penyimpangan rata-rata secara signifikan pada lokasi ini. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa heterogenitas topografi dalam satu grid satelit dapat menjadi faktor yang membatasi efektivitas koreksi bias, terutama pada wilayah transisi antara pesisir dan perbukitan.

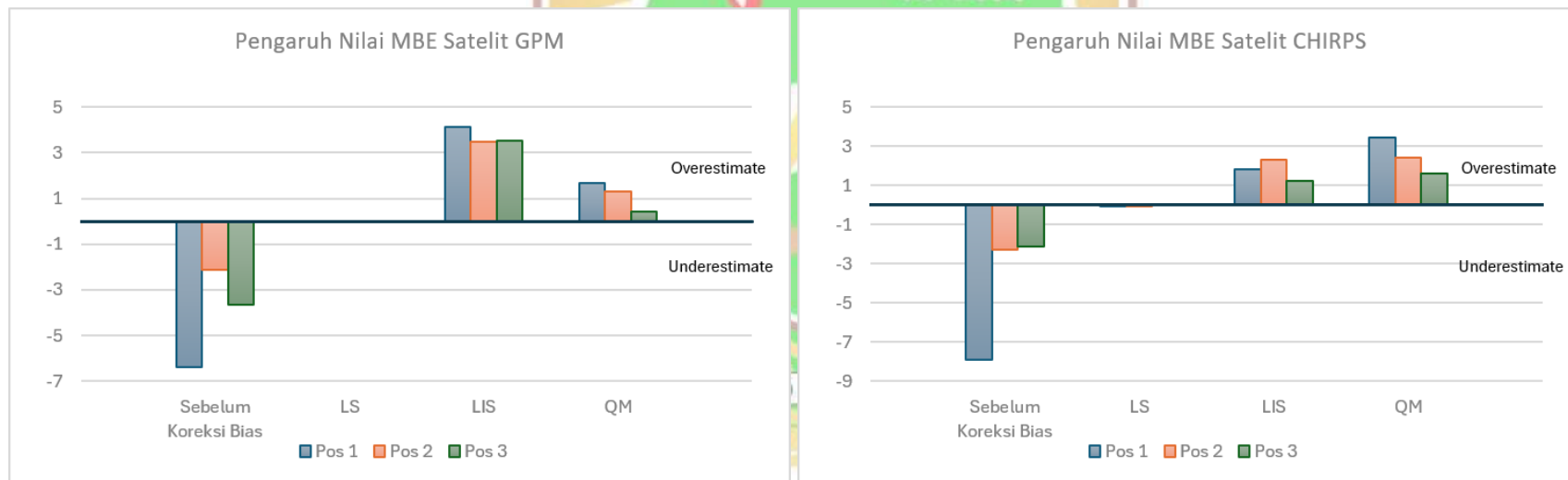
Secara keseluruhan, hasil analisis NMAE menunjukkan bahwa efektivitas metode koreksi bias berbeda pada setiap lokasi dan produk satelit. Pada

data GPM, metode LS dan QM memberikan perbaikan pada Pos 1 dan Pos 2, namun belum mampu mengurangi penyimpangan rata-rata di Pos 3. Pada data CHIRPS, metode QM memberikan hasil terbaik di Pos 2, sedangkan pada Pos 1 dan Pos 3 seluruh metode belum menunjukkan perbaikan dibandingkan kondisi sebelum koreksi. Hasil ini memperkuat temuan pada analisis Pearson dan NRMSE bahwa keberhasilan koreksi bias tidak hanya dipengaruhi oleh metode yang digunakan, tetapi juga oleh karakteristik topografi dan homogenitas wilayah yang direpresentasikan oleh setiap grid satelit.



#### 4.4.4 Hasil *Mean Bias Error* (MBE / Bias)

Hasil validasi menggunakan *Mean Bias Error* (MBE) digunakan untuk mengetahui kecenderungan data curah hujan satelit GPM dan CHIRPS dalam mengestimasi curah hujan observasi pada masing-masing pos pengamatan. Nilai MBE positif menunjukkan kecenderungan *overestimate*, sedangkan nilai MBE negatif menunjukkan kecenderungan *underestimate*. Nilai MBE yang semakin mendekati nol menunjukkan bahwa penyimpangan data satelit terhadap data observasi semakin kecil. Perbandingan nilai MBE sebelum dan setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), *Local Intensity Scaling* (LIS), dan *Quantile Mapping* (QM) disajikan pada **Gambar 4.13**.

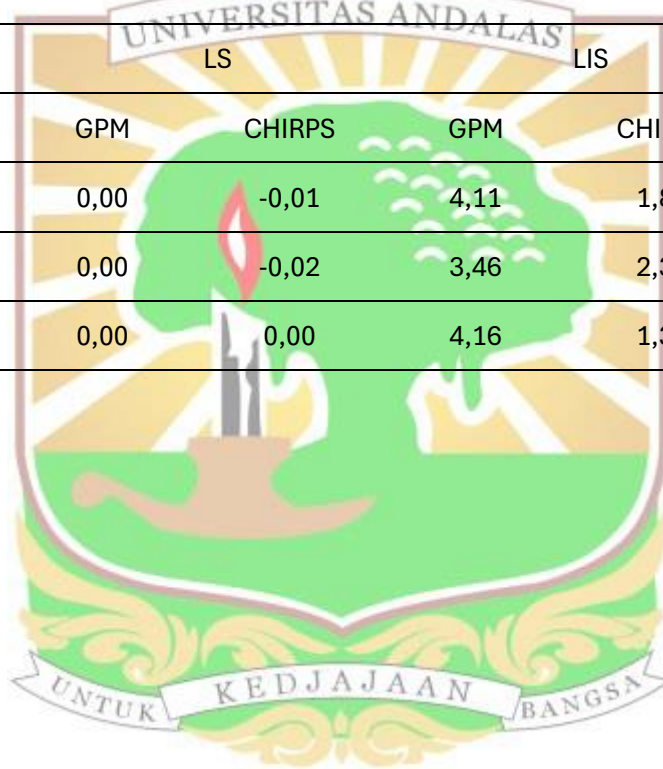


**Gambar 4.13** Perbandingan Nilai *Mean Bias Error* (MBE) Data GPM dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Setiap Pos Pengamatan

Nilai *Mean Bias Error* (MBE) secara lebih rinci untuk data GPM dan CHIRPS pada masing-masing pos pengamatan, baik sebelum maupun setelah penerapan metode koreksi bias LS, LIS, dan QM, disajikan pada **Tabel 4.4**.

**Tabel 4.4** Nilai *Mean Bias Error* (MBE) Data GPM dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Setiap Pos Pengamatan

| MBE   | Sebelum Koreksi Bias |        | LS   |        | LIS  |        | QM   |        |
|-------|----------------------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
|       | GPM                  | CHIRPS | GPM  | CHIRPS | GPM  | CHIRPS | GPM  | CHIRPS |
| Pos 1 | -6,40                | -7,89  | 0,00 | -0,01  | 4,11 | 1,81   | 1,66 | 3,43   |
| Pos 2 | -2,10                | -2,29  | 0,00 | -0,02  | 3,46 | 2,31   | 1,31 | 2,39   |
| Pos 3 | -3,64                | -2,13  | 0,00 | 0,00   | 4,16 | 1,39   | 0,44 | 1,62   |



Berdasarkan Gambar dan Tabel di atas, *Mean Bias Error* (MBE) digunakan untuk mengevaluasi arah penyimpangan antara data curah hujan satelit dan data observasi. Nilai MBE positif menunjukkan bahwa data satelit cenderung mengestimasi curah hujan lebih tinggi (*overestimate*) dibandingkan data observasi, sedangkan nilai MBE negatif menunjukkan bahwa data satelit mengestimasi lebih rendah (*underestimate*). Nilai MBE yang semakin mendekati nol menunjukkan bahwa bias sistematis semakin kecil sehingga hasil estimasi semakin baik.

Sebelum dilakukan koreksi bias, seluruh data satelit baik GPM maupun CHIRPS menunjukkan nilai MBE negatif pada semua pos pengamatan. Pada data GPM, nilai MBE berkisar antara -6,40 mm, -2,10 mm, hingga -3,64 mm, sedangkan pada data CHIRPS berkisar antara -7,89 mm, -2,29 mm, hingga -2,13 mm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kedua produk satelit secara umum meng-*underestimate* curah hujan di Kota Padang sebelum dilakukan koreksi bias.

Setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), nilai MBE mengalami penurunan yang sangat signifikan dan berada pada kisaran 0,00 hingga -0,02 mm. Pada data GPM, seluruh pos memiliki nilai MBE sebesar 0,00 mm, sedangkan pada CHIRPS nilai MBE berada pada kisaran -0,01 hingga 0,00 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa metode LS mampu menghilangkan bias sistematis secara efektif sehingga rata-rata estimasi curah hujan satelit menjadi hampir sama dengan data observasi.

Berbeda dengan LS, metode *Local Intensity Scaling* (LIS) menghasilkan perubahan nilai MBE menjadi positif pada seluruh pos pengamatan. Nilai MBE GPM berkisar antara 3,46–4,16 mm, sedangkan CHIRPS berkisar antara 1,39–2,31 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa setelah koreksi menggunakan LIS, data satelit cenderung meng-*overestimate* curah hujan dibandingkan data observasi.

Pola yang hampir sama juga terlihat pada metode *Quantile Mapping* (QM). Nilai MBE berubah menjadi positif pada seluruh pos, namun besarnya *overestimate* lebih kecil dibandingkan metode LIS. Pada data GPM, nilai MBE berkisar antara 0,44–1,66 mm, sedangkan pada CHIRPS berkisar

antara 1,62–3,43 mm. Dengan demikian, meskipun QM belum mampu menghasilkan nilai MBE yang mendekati nol seperti LS, metode ini menghasilkan bias positif yang relatif lebih kecil dibandingkan LIS pada data GPM.

Jika ditinjau berdasarkan lokasi pengamatan, Pos 1 yang berada pada wilayah perbukitan (292 mdpl) memiliki nilai MBE negatif terbesar sebelum dilakukan koreksi, yaitu -6,40 mm pada GPM dan -7,89 mm pada CHIRPS. Hal tersebut menunjukkan bahwa data satelit mengalami *underestimate* yang lebih besar pada wilayah dengan topografi kompleks dibandingkan wilayah pesisir. Setelah dilakukan koreksi menggunakan metode LS, nilai bias sistematis pada Pos 1 berhasil dihilangkan hampir seluruhnya. Namun, metode LIS dan QM menghasilkan bias positif sehingga estimasi curah hujan menjadi sedikit lebih tinggi dibandingkan data observasi.

Pada Pos 2 yang berada di wilayah pesisir dengan elevasi sekitar 2 mdpl, nilai MBE sebelum koreksi relatif kecil dibandingkan Pos 1. Hal ini menunjukkan bahwa data satelit memiliki representasi yang lebih baik pada wilayah pesisir yang relatif datar. Setelah dilakukan koreksi bias, metode LS kembali memberikan hasil terbaik dengan nilai MBE mendekati nol, sedangkan LIS dan QM menghasilkan sedikit *overestimate*.

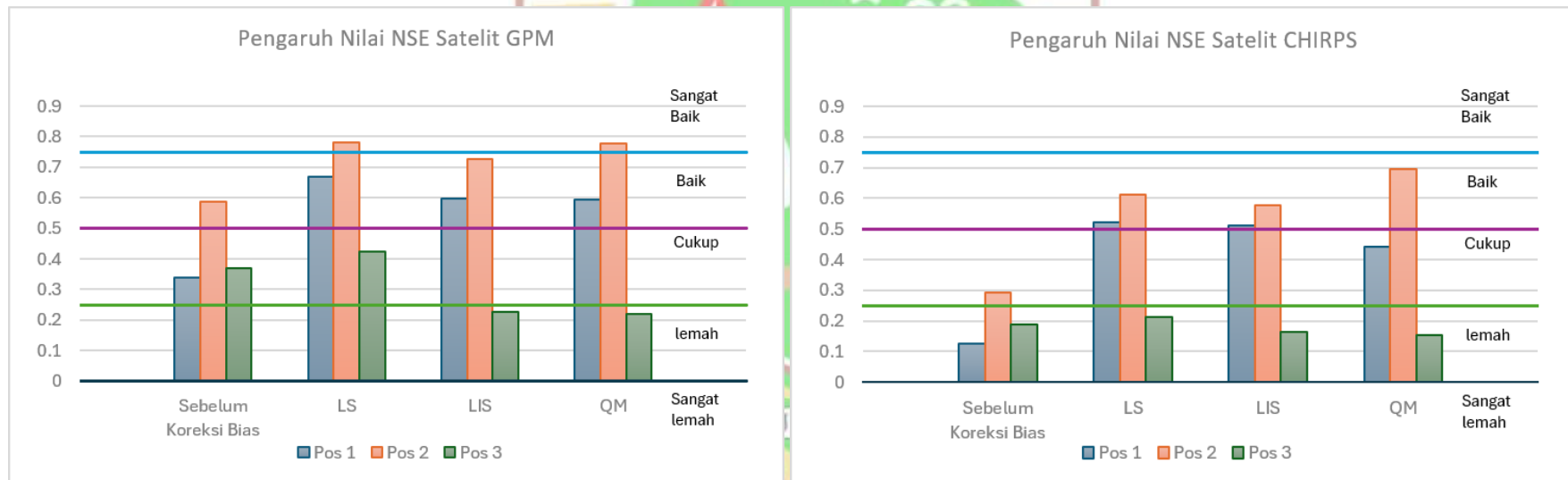
Sementara itu, Pos 3 yang berada pada elevasi 9 mdpl juga menunjukkan pola yang serupa. Meskipun berada pada dataran rendah, nilai MBE sebelum koreksi masih menunjukkan adanya *underestimate*. Berdasarkan peta grid satelit, Pos 3 berada pada wilayah yang memiliki karakteristik topografi lebih heterogen dibandingkan Pos 2 karena mencakup kawasan pesisir, dataran perkotaan, dan kaki perbukitan dalam satu grid satelit. Heterogenitas tersebut diduga menyebabkan estimasi curah hujan hasil satelit lebih sulit merepresentasikan kondisi di titik pengamatan. Namun demikian, metode LS tetap mampu menghilangkan bias sistematis secara efektif pada lokasi ini, sedangkan metode LIS dan QM cenderung menghasilkan *overestimate* dengan besaran yang lebih kecil pada QM dibandingkan LIS.

Secara keseluruhan, hasil analisis MBE menunjukkan bahwa sebelum dilakukan koreksi bias, data GPM maupun CHIRPS secara konsisten meng-*underestimate* curah hujan observasi. Metode *Linear Scaling* (LS) merupakan metode yang paling efektif dalam menghilangkan bias sistematis karena menghasilkan nilai MBE yang mendekati nol pada seluruh pos pengamatan. Sebaliknya, metode LIS dan QM cenderung mengubah pola bias dari *underestimate* menjadi *overestimate*, meskipun besarnya *overestimate* pada metode QM umumnya lebih kecil dibandingkan LIS. Temuan ini menunjukkan bahwa apabila tujuan utama koreksi bias adalah menghilangkan bias rata-rata, maka metode LS memberikan kinerja yang paling baik pada wilayah pesisir maupun pegunungan di Kota Padang.



#### 4.4.5 Hasil Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE)

Hasil validasi menggunakan *Nash–Sutcliffe Efficiency* (NSE) digunakan untuk mengevaluasi tingkat kesesuaian data curah hujan satelit GPM dan CHIRPS terhadap data curah hujan observasi pada masing-masing pos pengamatan. Nilai NSE yang semakin mendekati 1 menunjukkan tingkat kesesuaian yang semakin baik antara data satelit dan data observasi. Perbandingan nilai NSE sebelum dan setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), *Local Intensity Scaling* (LIS), dan *Quantile Mapping* (QM) disajikan pada **Gambar 4.14**.



**Gambar 4.14** Perbandingan Nilai *Nash–Sutcliffe Efficiency* (NSE) Data GPM dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Setiap Pos Pengamatan

Nilai *Nash–Sutcliffe Efficiency* (NSE) secara lebih rinci untuk data GPM dan CHIRPS pada masing-masing pos pengamatan, baik sebelum maupun setelah penerapan metode koreksi bias LS, LIS, dan QM, disajikan pada **Tabel 4.5**.

**Tabel 4.5** Nilai *Nash–Sutcliffe Efficiency* (NSE) Data GPM dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Setiap Pos Pengamatan

| NSE   | Sebelum Koreksi Bias |        | LS   |        | LIS  |        | QM   |        |
|-------|----------------------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
|       | GPM                  | CHIRPS | GPM  | CHIRPS | GPM  | CHIRPS | GPM  | CHIRPS |
| Pos 1 | 0,34                 | 0,12   | 0,67 | 0,52   | 0,60 | 0,51   | 0,59 | 0,44   |
| Pos 2 | 0,59                 | 0,29   | 0,78 | 0,61   | 0,73 | 0,58   | 0,78 | 0,70   |
| Pos 3 | 0.37                 | 0,19   | 0,43 | 0,21   | 0,23 | 0,17   | 0,22 | 0,15   |



Berdasarkan Gambar dan Tabel di atas, Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) digunakan untuk mengevaluasi kemampuan data curah hujan satelit dalam merepresentasikan variasi curah hujan observasi. Nilai NSE berkisar antara  $-\infty$  hingga 1, dengan nilai yang semakin mendekati 1 menunjukkan bahwa data satelit semakin mampu merepresentasikan data observasi. Sebaliknya, nilai NSE yang rendah menunjukkan bahwa penyimpangan antara data satelit dan observasi masih cukup besar.

Sebelum dilakukan koreksi bias, data satelit GPM menunjukkan nilai NSE yang lebih tinggi dibandingkan CHIRPS pada seluruh pos pengamatan. Nilai NSE GPM berkisar antara 0,34–0,59, sedangkan CHIRPS hanya berkisar antara 0,12–0,29. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebelum koreksi bias dilakukan, GPM telah memiliki kemampuan yang lebih baik dalam merepresentasikan variasi curah hujan dibandingkan CHIRPS.

Setelah dilakukan koreksi bias, seluruh metode mampu meningkatkan nilai NSE pada sebagian besar lokasi pengamatan. Pada data GPM, metode *Linear Scaling* (LS) menghasilkan nilai NSE sebesar 0,67, 0,78, dan 0,43 pada Pos 1, Pos 2, dan Pos 3. Metode *Local Intensity Scaling* (LIS) menghasilkan nilai 0,60, 0,73, dan 0,23, sedangkan metode *Quantile Mapping* (QM) menghasilkan nilai 0,59, 0,78, dan 0,22.

Pada data CHIRPS, metode LS meningkatkan nilai NSE menjadi **0,52, 0,61, dan 0,21**, sedangkan metode LIS menghasilkan nilai **0,51, 0,58, dan 0,17**. Metode QM memberikan nilai NSE sebesar **0,44, 0,70, dan 0,15** pada Pos 1, Pos 2, dan Pos 3.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa *Linear Scaling* (LS) merupakan metode yang paling konsisten dalam meningkatkan nilai NSE. Pada data GPM, LS memberikan nilai NSE tertinggi di Pos 1 dan Pos 3, sedangkan di Pos 2 LS dan QM menghasilkan nilai yang sama (0,78). Pada data CHIRPS, LS memberikan nilai NSE terbaik di Pos 1 dan Pos 3, sedangkan metode QM memberikan nilai tertinggi di Pos 2 (0,70). Hal ini menunjukkan bahwa

efektivitas metode koreksi bias tetap dipengaruhi oleh karakteristik lokasi pengamatan.

Ditinjau berdasarkan kondisi topografi, Pos 1 yang berada pada wilayah perbukitan dengan elevasi sekitar 292 mdpl mengalami peningkatan NSE yang cukup besar setelah dilakukan koreksi bias. Nilai NSE GPM meningkat dari 0,34 menjadi 0,67, sedangkan CHIRPS meningkat dari 0,12 menjadi 0,52 melalui metode LS. Hasil tersebut menunjukkan bahwa meskipun wilayah pegunungan memiliki pola hujan yang lebih kompleks akibat pengaruh orografis, metode LS mampu meningkatkan kemampuan data satelit dalam merepresentasikan variasi curah hujan di wilayah tersebut.

Pos 2 yang berada pada wilayah pesisir dengan elevasi sekitar 2 mdpl menunjukkan nilai NSE tertinggi dibandingkan dua lokasi lainnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa data satelit lebih mampu merepresentasikan curah hujan pada wilayah dengan topografi yang relatif homogen. Berdasarkan peta grid satelit, area yang direpresentasikan pada Pos 2 didominasi oleh wilayah pesisir dan dataran rendah sehingga variasi curah hujan dalam satu grid relatif lebih seragam. Kondisi tersebut mendukung peningkatan nilai NSE yang cukup signifikan setelah dilakukan koreksi bias.

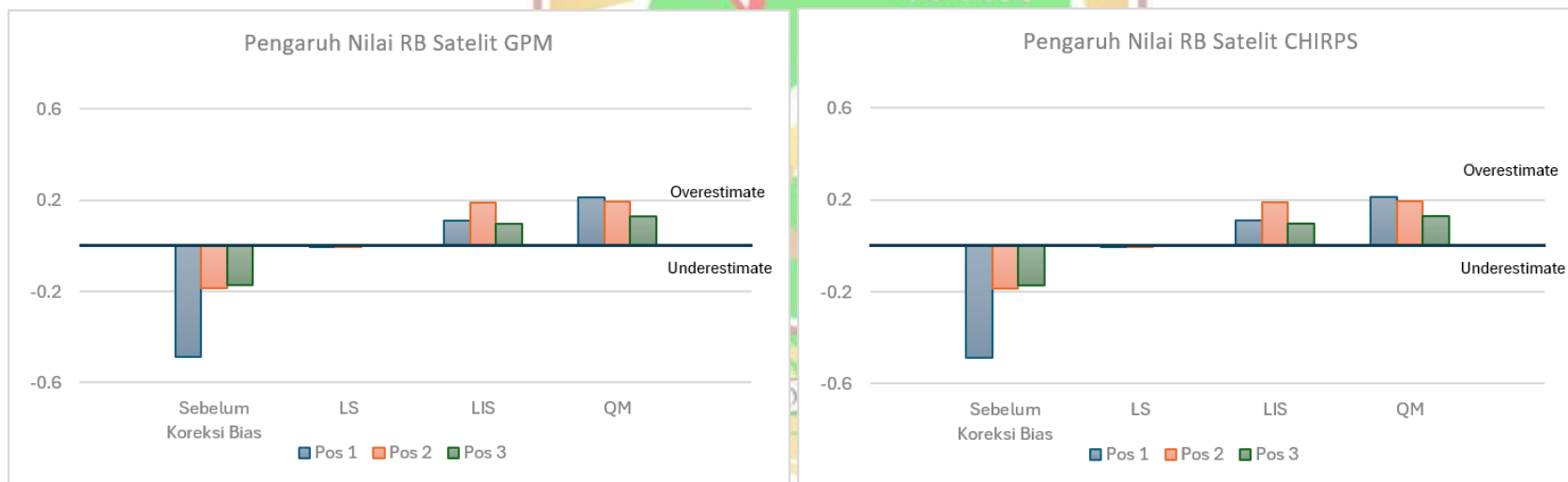
Sebaliknya, Pos 3 menunjukkan nilai NSE yang relatif rendah baik sebelum maupun sesudah dilakukan koreksi bias. Meskipun elevasi stasiun hanya sekitar 9 mdpl, berdasarkan peta grid satelit Pos 3 berada pada wilayah yang memiliki karakteristik topografi lebih heterogen dibandingkan Pos 2, yaitu mencakup kawasan pesisir, dataran perkotaan, serta bagian kaki perbukitan dalam satu grid satelit. Heterogenitas tersebut menyebabkan satu grid satelit merepresentasikan wilayah dengan karakteristik hujan yang berbeda sehingga kemampuan data satelit dalam menggambarkan kondisi pada titik pengamatan menjadi lebih terbatas. Akibatnya, peningkatan nilai NSE di Pos 3 relatif kecil dibandingkan Pos 1 dan Pos 2, bahkan metode LIS dan QM menghasilkan nilai NSE yang lebih rendah dibandingkan kondisi sebelum koreksi.

Secara keseluruhan, hasil analisis NSE menunjukkan bahwa proses koreksi bias mampu meningkatkan kemampuan data satelit dalam merepresentasikan curah hujan observasi, terutama melalui metode *Linear Scaling* (LS). Metode ini memberikan peningkatan yang paling konsisten pada kedua produk satelit, terutama di wilayah pegunungan (Pos 1) dan pesisir yang relatif homogen (Pos 2). Namun demikian, pada Pos 3 peningkatan kinerja masih terbatas. Hasil ini memperkuat temuan pada analisis koefisien korelasi Pearson, NRMSE, NMAE, dan MBE bahwa keberhasilan koreksi bias tidak hanya dipengaruhi oleh metode yang digunakan, tetapi juga oleh karakteristik topografi dan homogenitas wilayah yang direpresentasikan oleh setiap grid satelit. Wilayah dengan topografi yang lebih heterogen cenderung memberikan tingkat ketidakpastian yang lebih tinggi sehingga efektivitas koreksi bias menjadi lebih rendah.



#### 4.4.6 Hasil Relative Bias (RB)

Hasil validasi menggunakan *Relative Bias* (RB) digunakan untuk mengetahui besarnya penyimpangan relatif data curah hujan satelit GPM dan CHIRPS terhadap data curah hujan observasi pada masing-masing pos pengamatan. Nilai RB positif menunjukkan kecenderungan *overestimate*, sedangkan nilai RB negatif menunjukkan kecenderungan *underestimate*. Nilai RB yang semakin mendekati nol menunjukkan tingkat penyimpangan yang semakin kecil dan kesesuaian data satelit yang semakin baik terhadap data observasi. Perbandingan nilai RB sebelum dan setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), *Local Intensity Scaling* (LIS), dan *Quantile Mapping* (QM) disajikan pada **Gambar 4.15**.

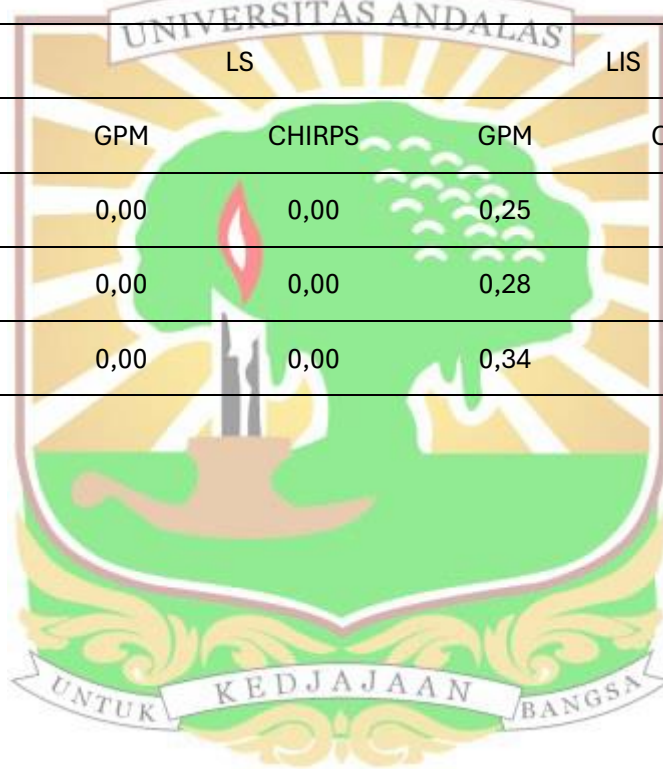


**Gambar 4.15** Perbandingan Nilai *Relative Bias* (RB) Data GPM dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Setiap Pos Pengamatan

Nilai *Relative Bias* (RB) secara lebih rinci untuk data GPM dan CHIRPS pada masing-masing pos pengamatan, baik sebelum maupun setelah penerapan metode koreksi bias LS, LIS, dan QM, disajikan pada **Tabel 4.6**.

**Tabel 4.6** Nilai *Relative Bias* (RB) Data GPM dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Setiap Pos Pengamatan

| RB    | Sebelum Koreksi Bias |        | LS   |        | LIS  |        | QM   |        |
|-------|----------------------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
|       | GPM                  | CHIRPS | GPM  | CHIRPS | GPM  | CHIRPS | GPM  | CHIRPS |
| Pos 1 | -0,39                | -0,48  | 0,00 | 0,00   | 0,25 | 0,11   | 0,10 | 0,21   |
| Pos 2 | -0,17                | -0,19  | 0,00 | 0,00   | 0,28 | 0,19   | 0,11 | 0,20   |
| Pos 3 | -0,29                | -0,17  | 0,00 | 0,00   | 0,34 | 0,11   | 0,04 | 0,13   |



Berdasarkan Gambar dan Tabel di atas, Relative Bias (RB) digunakan untuk mengevaluasi besarnya penyimpangan relatif antara data curah hujan satelit dan data observasi. Nilai RB mendekati nol menunjukkan bahwa data satelit memiliki bias yang semakin kecil terhadap data observasi. Nilai RB negatif menunjukkan bahwa data satelit mengestimasi curah hujan lebih rendah (*underestimate*) dibandingkan data observasi, sedangkan nilai RB positif menunjukkan bahwa data satelit mengestimasi curah hujan lebih tinggi (*overestimate*).

Sebelum dilakukan koreksi bias, seluruh data satelit GPM maupun CHIRPS menunjukkan nilai RB negatif pada seluruh pos pengamatan. Nilai RB GPM berkisar antara  $-0,39$  hingga  $-0,17$ , sedangkan CHIRPS berkisar antara  $-0,48$  hingga  $-0,17$ . Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebelum dilakukan koreksi bias kedua produk satelit secara umum masih mengalami *underestimate* terhadap data curah hujan observasi. Selain itu, nilai RB CHIRPS yang lebih negatif dibandingkan GPM mengindikasikan bahwa tingkat bias relatif CHIRPS lebih besar dibandingkan GPM.

Setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), nilai RB pada seluruh pos pengamatan menjadi 0,00 baik untuk GPM maupun CHIRPS. Hasil ini menunjukkan bahwa metode LS mampu menghilangkan bias relatif secara efektif sehingga rata-rata curah hujan hasil satelit menjadi sangat mendekati data observasi. Dibandingkan metode lainnya, LS memberikan hasil terbaik karena menghasilkan nilai RB yang paling mendekati nol pada seluruh lokasi penelitian.

Berbeda dengan LS, metode *Local Intensity Scaling* (LIS) menghasilkan perubahan nilai RB menjadi positif pada seluruh pos pengamatan. Pada data GPM, nilai RB berkisar antara  $0,25$ – $0,34$ , sedangkan pada CHIRPS berkisar antara  $0,11$ – $0,19$ . Nilai tersebut menunjukkan bahwa setelah dilakukan koreksi menggunakan metode LIS, data satelit cenderung mengalami *overestimate* terhadap data observasi.

Metode *Quantile Mapping* (QM) juga menghasilkan nilai RB positif pada seluruh lokasi, namun dengan besaran yang umumnya lebih kecil dibandingkan metode LIS. Pada data GPM, nilai RB berkisar antara 0,04–0,11, sedangkan pada CHIRPS berkisar antara 0,13–0,21. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun QM belum mampu menghilangkan bias relatif seperti LS, metode ini menghasilkan tingkat *overestimate* yang lebih kecil dibandingkan LIS, khususnya pada data GPM.

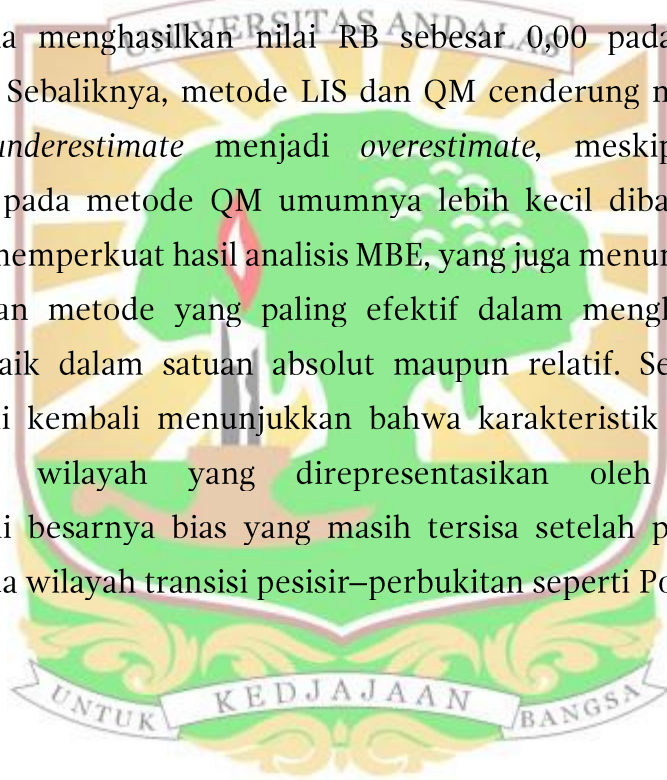
Ditinjau berdasarkan karakteristik lokasi, Pos 1 yang berada pada wilayah perbukitan dengan elevasi sekitar 292 mdpl memiliki nilai RB negatif terbesar sebelum dilakukan koreksi, yaitu -0,39 pada GPM dan -0,48 pada CHIRPS. Hal ini menunjukkan bahwa data satelit cenderung lebih besar mengalami *underestimate* pada wilayah dengan topografi kompleks. Setelah dilakukan koreksi menggunakan metode LS, bias relatif pada Pos 1 berhasil dihilangkan sehingga nilai RB menjadi nol. Sebaliknya, metode LIS dan QM menghasilkan nilai RB positif yang menunjukkan adanya *overestimate* terhadap data observasi.

Pada Pos 2 yang berada pada wilayah pesisir dengan elevasi sekitar 2 mdpl, nilai RB sebelum koreksi lebih kecil dibandingkan Pos 1. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa data satelit telah memiliki representasi yang lebih baik pada wilayah pesisir dengan topografi yang relatif datar. Setelah dilakukan koreksi, metode LS kembali memberikan hasil terbaik dengan nilai RB sebesar 0,00, sedangkan metode LIS dan QM menghasilkan sedikit *overestimate*.

Sementara itu, Pos 3 yang berada pada elevasi sekitar 9 mdpl juga menunjukkan pola yang serupa. Meskipun berada pada dataran rendah, nilai RB sebelum koreksi masih menunjukkan adanya bias negatif. Berdasarkan peta grid satelit, Pos 3 berada pada wilayah yang memiliki karakteristik topografi lebih heterogen dibandingkan Pos 2 karena mencakup kawasan pesisir, dataran perkotaan, dan bagian kaki perbukitan dalam satu grid satelit. Heterogenitas tersebut menyebabkan nilai curah hujan hasil satelit merupakan representasi rata-rata dari wilayah dengan

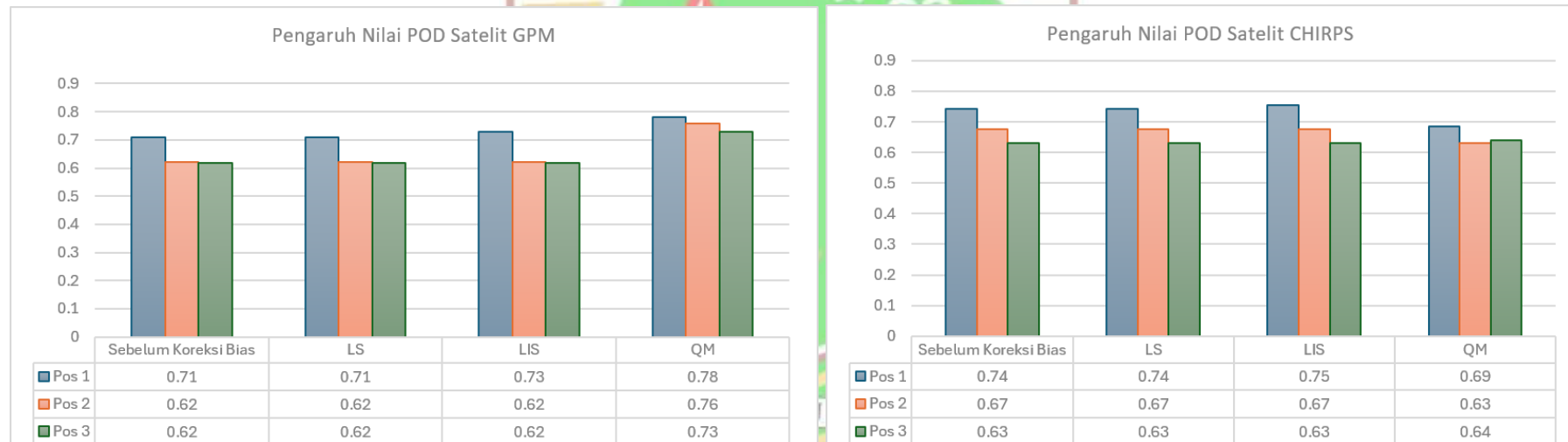
karakteristik hujan yang berbeda sehingga tingkat bias relatif terhadap data observasi menjadi lebih besar. Namun demikian, metode LS tetap mampu menghilangkan bias relatif pada lokasi ini, sedangkan metode LIS dan QM menghasilkan *overestimate* dengan besaran yang lebih kecil pada metode QM dibandingkan LIS.

Secara keseluruhan, hasil analisis RB menunjukkan bahwa sebelum dilakukan koreksi bias, data GPM maupun CHIRPS secara konsisten mengalami *underestimate* terhadap data observasi. Metode *Linear Scaling* (LS) merupakan metode yang paling efektif dalam menghilangkan bias relatif karena menghasilkan nilai RB sebesar 0,00 pada seluruh pos pengamatan. Sebaliknya, metode LIS dan QM cenderung mengubah pola bias dari *underestimate* menjadi *overestimate*, meskipun besarnya *overestimate* pada metode QM umumnya lebih kecil dibandingkan LIS. Temuan ini memperkuat hasil analisis MBE, yang juga menunjukkan bahwa LS merupakan metode yang paling efektif dalam menghilangkan bias sistematis, baik dalam satuan absolut maupun relatif. Selain itu, hasil penelitian ini kembali menunjukkan bahwa karakteristik topografi dan homogenitas wilayah yang direpresentasikan oleh grid satelit memengaruhi besarnya bias yang masih tersisa setelah proses koreksi, terutama pada wilayah transisi pesisir–perbukitan seperti Pos 3.



#### 4.4.7 Hasil *Probability of Detection* (POD)

Hasil validasi menggunakan *Probability of Detection* (POD) digunakan untuk mengevaluasi kemampuan data curah hujan satelit GPM dan CHIRPS dalam mendeteksi kejadian hujan yang terjadi berdasarkan data observasi pada masing-masing pos pengamatan. Nilai POD berada pada rentang 0–1, dengan nilai yang semakin mendekati 1 menunjukkan kemampuan deteksi kejadian hujan yang semakin baik. Perbandingan nilai POD sebelum dan setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), *Local Intensity Scaling* (LIS), dan *Quantile Mapping* (QM) disajikan pada **Gambar 4.16**.



**Gambar 4.16** Perbandingan Nilai *Probability of Detection* (POD) Data GPM dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Setiap Pos Pengamatan

Berdasarkan Gambar di atas, sebelum dilakukan koreksi bias, data satelit GPM memiliki nilai POD sebesar 0,71, 0,62, dan 0,62 pada Pos 1, Pos 2, dan Pos 3. Sementara itu, CHIRPS memiliki nilai POD sebesar 0,74, 0,67, dan 0,63. Hasil tersebut

menunjukkan bahwa sebelum dilakukan koreksi bias, kedua produk satelit telah mampu mendeteksi lebih dari 60% kejadian hujan yang diamati, dengan CHIRPS menunjukkan kemampuan deteksi yang sedikit lebih tinggi dibandingkan GPM.

Setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), nilai POD tidak mengalami perubahan pada seluruh lokasi pengamatan baik untuk GPM maupun CHIRPS. Hal ini menunjukkan bahwa metode LS lebih berperan dalam memperbaiki besaran curah hujan daripada meningkatkan kemampuan satelit dalam mendeteksi kejadian hujan.

Metode *Local Intensity Scaling* (LIS) memberikan peningkatan yang relatif kecil terhadap nilai POD. Pada data GPM, peningkatan hanya terjadi pada Pos 1 dari 0,71 menjadi 0,73, sedangkan pada Pos 2 dan Pos 3 nilai POD tetap sebesar 0,62. Pada data CHIRPS, peningkatan juga hanya terjadi pada Pos 1 dari 0,74 menjadi 0,75, sedangkan Pos 2 dan Pos 3 tidak mengalami perubahan.

Berbeda dengan LS dan LIS, metode *Quantile Mapping* (QM) memberikan peningkatan yang lebih nyata pada data GPM. Nilai POD meningkat menjadi 0,78, 0,76, dan 0,73 masing-masing pada Pos 1, Pos 2, dan Pos 3. Peningkatan terbesar terjadi pada Pos 2 dan Pos 3, yang menunjukkan bahwa metode QM mampu meningkatkan kemampuan GPM dalam mendeteksi kejadian hujan pada wilayah pesisir maupun wilayah transisi pesisir-perbukitan. Pada data CHIRPS, metode QM menghasilkan hasil yang berbeda. Nilai POD di Pos 3 meningkat sedikit menjadi 0,64, namun pada Pos 1 dan Pos 2 justru menurun menjadi 0,69 dan 0,63.

Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa efektivitas metode koreksi bias terhadap kemampuan deteksi hujan bergantung pada jenis data satelit yang digunakan. Pada data GPM, metode QM mampu meningkatkan probabilitas deteksi hujan secara konsisten pada seluruh lokasi pengamatan. Sebaliknya, pada data CHIRPS, metode QM tidak selalu meningkatkan kemampuan deteksi hujan sehingga pengaruhnya terhadap POD relatif lebih kecil.

Ditinjau berdasarkan karakteristik lokasi, Pos 1 yang berada pada wilayah perbukitan dengan elevasi sekitar 292 mdpl menunjukkan nilai POD yang

relatif tinggi baik sebelum maupun sesudah dilakukan koreksi bias. Hal ini menunjukkan bahwa kejadian hujan di wilayah tersebut masih dapat dideteksi dengan baik oleh kedua produk satelit meskipun pola hujannya dipengaruhi oleh proses orografis.

Pada Pos 2 yang berada pada wilayah pesisir dengan elevasi sekitar 2 mdpl, metode QM memberikan peningkatan POD yang cukup besar pada data GPM, yaitu dari 0,62 menjadi 0,76. Kondisi ini menunjukkan bahwa koreksi distribusi data menggunakan *Quantile Mapping* mampu meningkatkan kemampuan satelit dalam mengenali kejadian hujan pada wilayah dengan topografi yang relatif homogen.

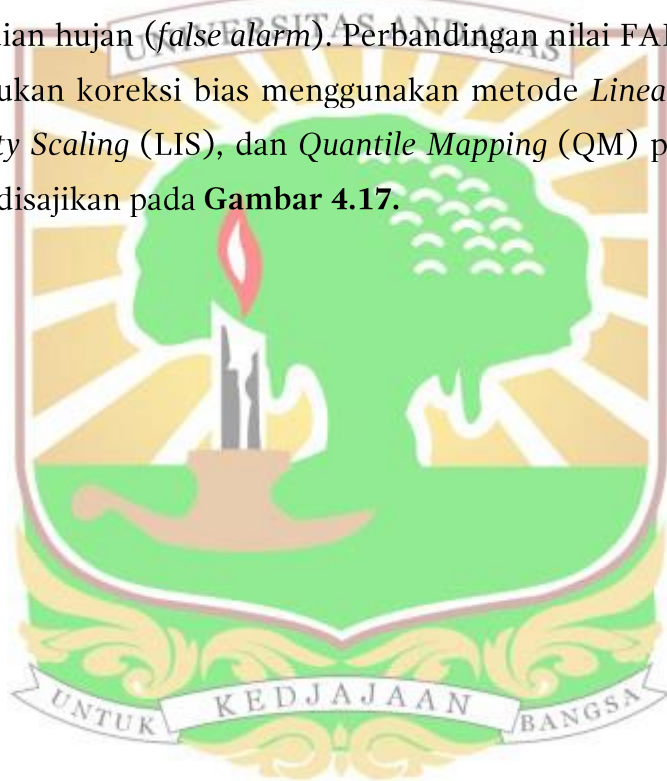
Sementara itu, Pos 3 menunjukkan peningkatan POD GPM dari 0,62 menjadi 0,73 setelah dilakukan koreksi menggunakan QM. Berdasarkan peta grid satelit, Pos 3 berada pada wilayah yang memiliki karakteristik topografi lebih heterogen karena mencakup kawasan pesisir, dataran perkotaan, dan kaki perbukitan dalam satu grid satelit. Meskipun kondisi tersebut menyebabkan beberapa indikator statistik sebelumnya menunjukkan kinerja yang lebih rendah dibandingkan Pos 2, metode QM tetap mampu meningkatkan kemampuan GPM dalam mendeteksi kejadian hujan pada lokasi ini. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun heterogenitas topografi memengaruhi akurasi besaran curah hujan, distribusi kejadian hujan masih dapat diperbaiki melalui pendekatan *Quantile Mapping*.

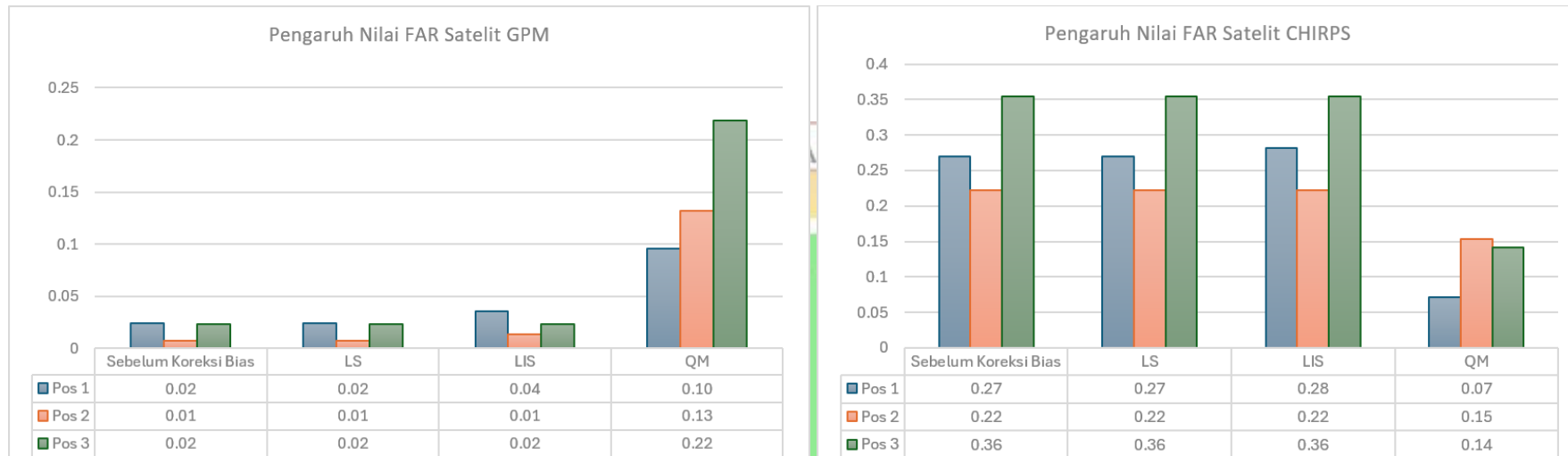
Secara keseluruhan, hasil analisis POD menunjukkan bahwa *Linear Scaling* (LS) dan *Local Intensity Scaling* (LIS) memberikan pengaruh yang relatif kecil terhadap kemampuan deteksi kejadian hujan. Sebaliknya, *Quantile Mapping* (QM) mampu meningkatkan nilai POD secara konsisten pada data GPM, meskipun tidak memberikan peningkatan yang sama pada CHIRPS. Hasil ini menunjukkan bahwa metode yang paling baik dalam mengurangi kesalahan besaran curah hujan belum tentu menjadi metode yang paling baik dalam meningkatkan kemampuan mendeteksi kejadian hujan. Oleh karena itu, evaluasi kinerja koreksi bias perlu mempertimbangkan berbagai

indikator secara bersama-sama, karena setiap indikator menggambarkan aspek performa yang berbeda dari data curah hujan satelit.

#### 4.4.8 Hasil *False Alarm Ratio* (FAR)

Hasil validasi menggunakan *False Alarm Ratio* (FAR) digunakan untuk mengevaluasi proporsi kejadian hujan yang terdeteksi oleh data curah hujan satelit GPM dan CHIRPS, tetapi tidak terjadi berdasarkan data observasi pada masing-masing pos pengamatan. Nilai FAR berada pada rentang 0–1, dengan nilai yang semakin mendekati 0 menunjukkan kemampuan data satelit yang semakin baik dalam menghindari kesalahan deteksi kejadian hujan (*false alarm*). Perbandingan nilai FAR sebelum dan setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), *Local Intensity Scaling* (LIS), dan *Quantile Mapping* (QM) pada setiap pos pengamatan disajikan pada **Gambar 4.17**.





**Gambar 4.17** Perbandingan Nilai *False Alarm Ratio* (FAR) Data GPM dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Setiap Pos Pengamatan

Berdasarkan Gambar di atas, Sebelum dilakukan koreksi bias, data satelit GPM menunjukkan nilai FAR yang sangat rendah, yaitu berkisar antara 0,01–0,02, sedangkan CHIRPS memiliki nilai FAR yang lebih tinggi, yaitu 0,22–0,36. Hasil ini menunjukkan bahwa sebelum dilakukan koreksi bias, GPM telah memiliki kemampuan yang lebih baik dibandingkan CHIRPS dalam mengurangi kejadian deteksi hujan yang salah.

Setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), nilai FAR tidak mengalami perubahan pada seluruh pos pengamatan, baik untuk GPM maupun CHIRPS. Pada GPM, nilai FAR tetap berada pada kisaran 0,01–0,02, sedangkan CHIRPS tetap pada kisaran 0,22–0,36. Hal ini menunjukkan bahwa metode LS lebih berperan dalam memperbaiki besaran curah hujan daripada meningkatkan kemampuan klasifikasi kejadian hujan.

Metode *Local Intensity Scaling* (LIS) juga tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap nilai FAR. Pada data GPM, hanya terjadi sedikit peningkatan FAR di Pos 1 dari 0,02 menjadi 0,04, sedangkan pada CHIRPS nilai FAR meningkat tipis dari 0,27 menjadi 0,28 di Pos 1 dan tidak berubah pada lokasi lainnya.

Berbeda dengan LS dan LIS, metode *Quantile Mapping* (QM) memberikan pengaruh yang berbeda pada kedua produk satelit. Pada data GPM, metode QM meningkatkan nilai FAR menjadi 0,10, 0,13, dan 0,22 masing-masing pada Pos 1, Pos 2, dan Pos 3. Peningkatan ini menunjukkan bahwa meskipun QM mampu meningkatkan kemampuan deteksi hujan (POD), metode tersebut juga menyebabkan peningkatan jumlah kejadian hujan yang terdeteksi secara salah (*false alarm*).

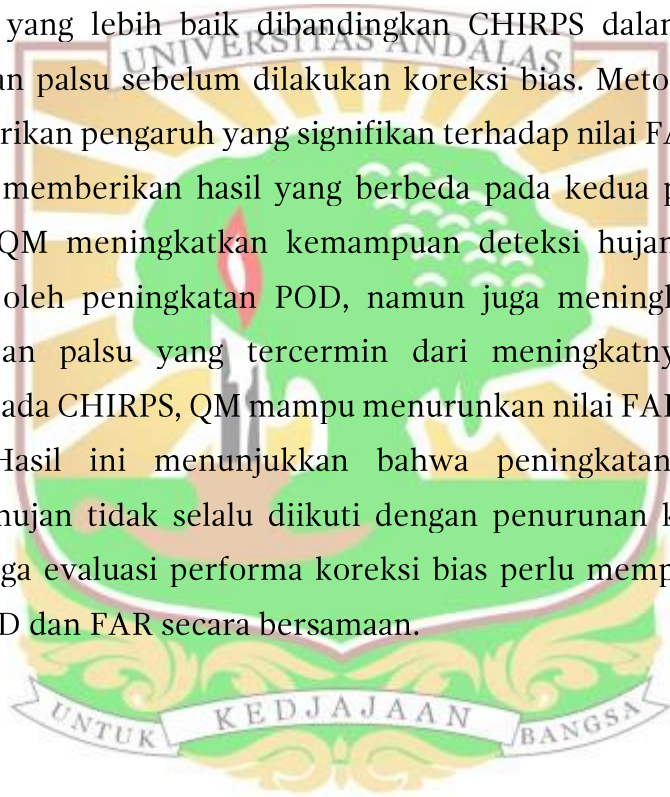
Sebaliknya, pada data CHIRPS metode QM justru menurunkan nilai FAR pada beberapa lokasi. Nilai FAR menurun dari 0,27 menjadi 0,07 di Pos 1 dan dari 0,36 menjadi 0,14 di Pos 3, meskipun di Pos 2 nilai FAR hanya turun sedikit menjadi 0,15. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode QM mampu memperbaiki kemampuan CHIRPS dalam mengurangi kejadian hujan palsu, terutama pada wilayah dengan topografi yang lebih kompleks. Ditinjau berdasarkan karakteristik lokasi, Pos 1 yang berada pada wilayah perbukitan dengan elevasi sekitar 292 mdpl menunjukkan nilai FAR yang relatif rendah pada GPM, tetapi cukup tinggi pada CHIRPS sebelum dilakukan koreksi bias. Setelah dilakukan koreksi menggunakan QM, FAR CHIRPS mengalami penurunan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa metode QM mampu memperbaiki distribusi curah hujan sehingga jumlah kejadian hujan palsu dapat dikurangi.

Pos 2 yang berada pada wilayah pesisir dengan elevasi sekitar 2 mdpl menunjukkan nilai FAR terendah pada GPM sebelum maupun sesudah koreksi bias. Kondisi ini mengindikasikan bahwa wilayah pesisir yang relatif homogen lebih mudah direpresentasikan oleh data satelit sehingga jumlah deteksi hujan yang salah menjadi lebih kecil.

Sementara itu, Pos 3 yang berada pada elevasi sekitar 9 mdpl menunjukkan nilai FAR CHIRPS tertinggi sebelum koreksi, yaitu 0,36. Berdasarkan peta

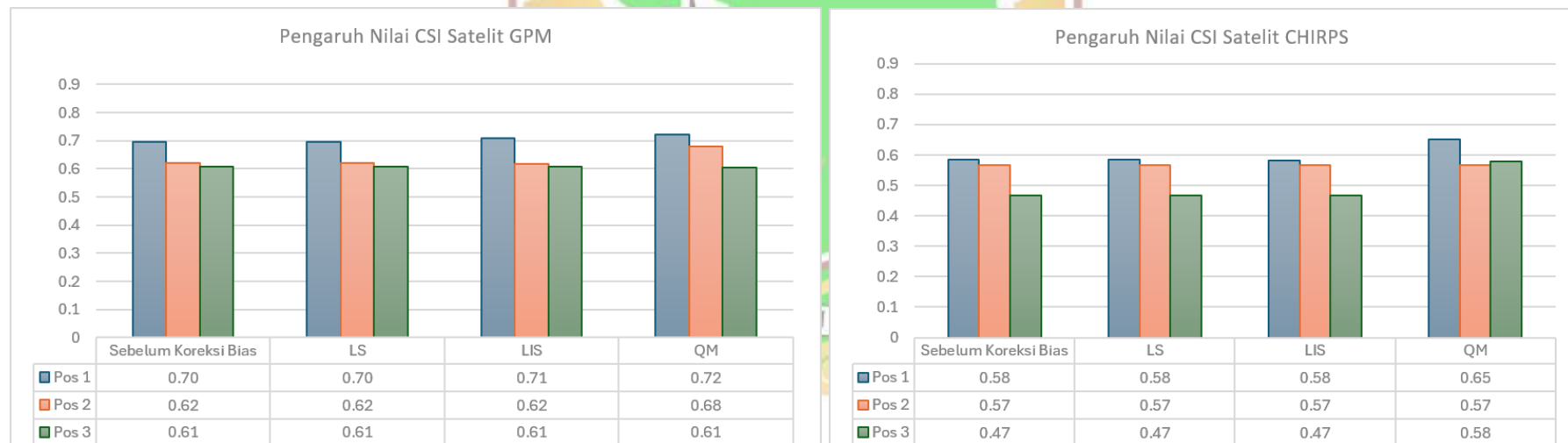
grid satelit, Pos 3 berada pada wilayah yang mencakup kawasan pesisir, dataran perkotaan, dan kaki perbukitan dalam satu grid satelit. Heterogenitas topografi tersebut menyebabkan variasi hujan dalam satu grid menjadi lebih besar sehingga kemungkinan terjadinya deteksi hujan yang salah juga meningkat. Meskipun demikian, metode QM mampu menurunkan FAR CHIRPS pada Pos 3 menjadi 0,14, yang menunjukkan adanya perbaikan kemampuan klasifikasi kejadian hujan pada wilayah dengan karakteristik topografi yang lebih kompleks.

Secara keseluruhan, hasil analisis FAR menunjukkan bahwa GPM memiliki kemampuan yang lebih baik dibandingkan CHIRPS dalam mengurangi kejadian hujan palsu sebelum dilakukan koreksi bias. Metode LS dan LIS tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai FAR, sedangkan metode QM memberikan hasil yang berbeda pada kedua produk satelit. Pada GPM, QM meningkatkan kemampuan deteksi hujan sebagaimana ditunjukkan oleh peningkatan POD, namun juga meningkatkan jumlah kejadian hujan palsu yang tercermin dari meningkatnya nilai FAR. Sebaliknya, pada CHIRPS, QM mampu menurunkan nilai FAR secara cukup signifikan. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kemampuan mendeteksi hujan tidak selalu diikuti dengan penurunan kejadian hujan palsu, sehingga evaluasi performa koreksi bias perlu mempertimbangkan indikator POD dan FAR secara bersamaan.



#### 4.4.9 Hasil *Critical Success Index* (CSI)

Hasil validasi menggunakan *Critical Success Index* (CSI) digunakan untuk mengevaluasi kemampuan data curah hujan satelit GPM dan CHIRPS dalam mendeteksi kejadian hujan dengan mempertimbangkan kejadian yang berhasil terdeteksi (*hit*), kejadian hujan yang tidak terdeteksi (*miss*), serta kejadian hujan yang terdeteksi tetapi tidak terjadi (*false alarm*) pada masing-masing pos pengamatan. Nilai CSI berada pada rentang 0–1, dengan nilai yang semakin mendekati 1 menunjukkan kemampuan deteksi kejadian hujan yang semakin baik. Perbandingan nilai CSI sebelum dan setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), *Local Intensity Scaling* (LIS), dan *Quantile Mapping* (QM) pada setiap pos pengamatan disajikan pada **Gambar 4.18**.



**Gambar 4.18** Perbandingan Nilai *Critical Success Index* (CSI) Data GPM dan CHIRPS Sebelum dan Setelah Koreksi Bias pada Setiap Pos Pengamatan

Berdasarkan Gambar di atas, sebelum dilakukan koreksi bias, data satelit GPM menunjukkan nilai CSI yang lebih tinggi dibandingkan CHIRPS pada seluruh pos pengamatan. Nilai CSI GPM berkisar antara 0,61–0,70, sedangkan CHIRPS berkisar antara 0,47–0,58. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebelum dilakukan koreksi bias, GPM telah memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mendeteksi kejadian hujan dibandingkan CHIRPS.

Setelah dilakukan koreksi bias menggunakan metode *Linear Scaling* (LS), nilai CSI tidak mengalami perubahan pada seluruh lokasi pengamatan baik untuk GPM maupun CHIRPS. Hal ini menunjukkan bahwa metode LS lebih berpengaruh terhadap perbaikan besaran curah hujan dibandingkan terhadap kemampuan klasifikasi kejadian hujan.

Metode *Local Intensity Scaling* (LIS) juga hanya memberikan perubahan yang sangat kecil. Pada data GPM, nilai CSI meningkat dari 0,70 menjadi 0,71 di Pos 1, sedangkan pada Pos 2 dan Pos 3 nilainya tetap sebesar 0,62 dan 0,61. Pada data CHIRPS, nilai CSI tidak mengalami perubahan pada seluruh pos pengamatan sehingga menunjukkan bahwa metode LIS belum memberikan peningkatan kemampuan deteksi kejadian hujan secara nyata. Berbeda dengan kedua metode tersebut, *Quantile Mapping* (QM) memberikan peningkatan nilai CSI pada sebagian besar lokasi. Pada data GPM, nilai CSI meningkat menjadi 0,72 di Pos 1 dan 0,68 di Pos 2, sedangkan di Pos 3 nilainya tetap 0,61. Pada data CHIRPS, metode QM meningkatkan nilai CSI dari 0,58 menjadi 0,65 di Pos 1 dan dari 0,47 menjadi 0,58 di Pos 3, sedangkan di Pos 2 nilai CSI tetap sebesar 0,57. Hasil ini menunjukkan bahwa metode QM lebih efektif dalam meningkatkan keberhasilan deteksi kejadian hujan dibandingkan LS maupun LIS, meskipun peningkatannya berbeda pada setiap lokasi dan produk satelit.

Ditinjau berdasarkan karakteristik lokasi, Pos 1 yang berada pada wilayah perbukitan dengan elevasi sekitar 292 mdpl mengalami peningkatan nilai CSI setelah dilakukan koreksi menggunakan QM. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun wilayah pegunungan memiliki pola hujan yang lebih kompleks akibat pengaruh orografis, metode QM mampu memperbaiki

distribusi data sehingga kejadian hujan lebih banyak terdeteksi dengan benar.

Pada Pos 2 yang berada pada wilayah pesisir dengan elevasi sekitar 2 mdpl, metode QM meningkatkan nilai CSI GPM dari 0,62 menjadi 0,68, sedangkan pada CHIRPS tidak terjadi perubahan. Wilayah pesisir yang relatif homogen menyebabkan data satelit lebih mudah merepresentasikan pola hujan sehingga nilai CSI telah cukup baik sebelum dilakukan koreksi. Oleh karena itu, peningkatan setelah koreksi menjadi relatif terbatas.

Berbeda dengan Pos 2, Pos 3 yang berada pada elevasi sekitar 9 mdpl menunjukkan karakteristik yang lebih kompleks. Berdasarkan peta grid satelit, Pos 3 berada pada wilayah yang mencakup kawasan pesisir, dataran perkotaan, dan kaki perbukitan dalam satu grid satelit. Heterogenitas tersebut menyebabkan distribusi curah hujan dalam satu grid menjadi lebih bervariasi sehingga kemampuan satelit dalam mendeteksi kejadian hujan menjadi lebih terbatas. Kondisi ini terlihat pada data GPM yang tidak mengalami peningkatan nilai CSI setelah koreksi. Namun, pada CHIRPS metode QM mampu meningkatkan nilai CSI dari 0,47 menjadi 0,58, yang menunjukkan adanya perbaikan kemampuan deteksi kejadian hujan meskipun wilayah yang direpresentasikan memiliki karakteristik topografi yang lebih heterogen.

Secara keseluruhan, hasil analisis CSI menunjukkan bahwa *Linear Scaling* (LS) dan *Local Intensity Scaling* (LIS) tidak memberikan perubahan yang berarti terhadap kemampuan deteksi kejadian hujan. Sebaliknya, *Quantile Mapping* (QM) memberikan peningkatan nilai CSI pada sebagian besar lokasi, terutama pada GPM di Pos 1 dan Pos 2 serta CHIRPS di Pos 1 dan Pos 3. Temuan ini sejalan dengan hasil analisis POD dan FAR, yang menunjukkan bahwa metode QM lebih efektif dalam memperbaiki klasifikasi kejadian hujan dibandingkan metode lainnya. Dengan demikian, LS lebih efektif dalam mengurangi bias dan kesalahan estimasi curah hujan (R, NRMSE, NMAE, MBE, RB, dan NSE), sedangkan QM lebih efektif dalam meningkatkan kemampuan deteksi kejadian hujan yang ditunjukkan oleh indikator POD dan CSI. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas metode

koreksi bias bergantung pada aspek performa yang dievaluasi, sehingga pemilihan metode perlu disesuaikan dengan tujuan analisis serta mempertimbangkan karakteristik topografi wilayah penelitian.

#### 4.5 Hasil Faktor Koreksi Bias Metode *Linear Scaling* (LS) dan *Local Intensity Scaling* (LIS)

Setelah diperoleh hasil validasi data curah hujan satelit, selanjutnya dilakukan analisis terhadap faktor koreksi yang dihasilkan oleh metode *Linear Scaling* (LS) dan *Local Intensity Scaling* (LIS). Faktor koreksi ini merupakan nilai pengali yang digunakan untuk menyesuaikan data curah hujan satelit agar lebih mendekati data observasi lapangan. Besarnya faktor koreksi mencerminkan tingkat bias yang terdapat pada data satelit, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai karakteristik kesalahan estimasi pada masing-masing produk satelit, lokasi pengamatan, dan periode waktu. Hasil perhitungan faktor koreksi untuk data GPM IMERG dan CHIRPS pada ketiga pos pengamatan disajikan pada **Tabel 4.7**



**Tabel 4.7** Faktor Koreksi Bias Metode *Linear Scaling* (LS) dan *Local Intensity Scaling* (LIS) pada Data GPM dan CHIRPS di Setiap Pos Pengamatan

| Tahun | Bulan     | Pos 1 |        |      |        | Pos 2 |        |      |        | Pos 3 |        |      |        |
|-------|-----------|-------|--------|------|--------|-------|--------|------|--------|-------|--------|------|--------|
|       |           | LS    |        | LIS  |        | LS    |        | LIS  |        | LS    |        | LIS  |        |
|       |           | GPM   | CHIRPS | GPM  | CHIRPS | GPM   | CHIRPS | GPM  | CHIRPS | GPM   | CHIRPS | GPM  | CHIRPS |
| 2023  | September | 1,28  | 1,93   | 2,54 | 1,90   | 0,90  | 1,34   | 0,91 | 1,00   |       |        |      |        |
|       | October   | 0,89  | TT     | 0,79 | TT     | 6,31  | TT     | TT   | TT     |       |        |      |        |
|       | November  | 0,81  | 0,67   | 1,11 | 1,00   | 0,67  | 0,51   | 1,36 | 1,13   |       |        |      |        |
|       | December  | 1,39  | 1,08   | 1,96 | 1,51   | 0,57  | 0,37   | 1,01 | 0,56   |       |        |      |        |
| 2024  | January   | 0,01  | 0,00   | 0,00 | 0,00   | 0,61  | 0,24   | 1,50 | 0,68   |       |        |      |        |
|       | February  | 0,26  | 0,76   | 0,47 | 0,44   | 0,64  | 1,39   | 0,86 | 0,70   |       |        |      |        |
|       | March     | 3,35  | 6,54   | 4,46 | 6,53   | 2,31  | 4,31   | 2,31 | 3,23   |       |        |      |        |
|       | April     | 0,22  | 0,35   | 0,43 | 1,04   | 0,86  | 1,77   | 0,87 | 2,66   |       |        |      |        |
|       | May       | 1,39  | 1,32   | 2,21 | 1,84   | 0,72  | 0,53   | 0,95 | 0,66   |       |        |      |        |
|       | June      | 1,70  | 2,94   | 1,71 | 3,20   | 0,95  | 1,07   | 1,48 | 1,30   |       |        |      |        |
|       | July      | 2,27  | 2,04   | 1,83 | 1,63   | 1,13  | 0,76   | 1,52 | 1,02   |       |        |      |        |
|       | August    | 1,62  | 3,94   | 1,78 | 5,48   | 1,29  | 1,82   | 1,31 | 2,84   |       |        |      |        |
|       | September | 2,43  | 3,13   | 4,44 | 3,61   | 1,60  | 1,55   | 2,02 | 1,93   |       |        |      |        |
|       | October   | 2,66  | 2,76   | 3,68 | 3,10   | 2,25  | 2,42   | 3,11 | 2,71   |       |        |      |        |
|       | November  | 1,52  | 2,12   | 1,67 | 2,12   | 1,12  | 1,39   | 1,36 | 1,38   | 0,29  | 0,38   | 0,83 | 0,73   |
|       | December  | 1,87  | 2,79   | 3,09 | 3,69   | 1,07  | 1,18   | 1,79 | 1,58   | 2,16  | 2,68   | 2,88 | 2,17   |
| 2025  | January   | 1,07  | 1,32   | 1,07 | 1,77   | 1,14  | 1,49   | 1,59 | 2,37   | 1,14  | 1,01   | 1,57 | 1,32   |
|       | February  | 2,04  | 2,41   | 1,60 | 2,69   | 0,55  | 0,62   | 1,28 | 2,04   | 0,85  | 0,94   | 1,41 | 1,95   |
|       | March     | 1,73  | 2,06   | 2,07 | 1,85   | 1,23  | 1,23   | 1,34 | 1,11   | 1,40  | 1,20   | 1,81 | 1,19   |
|       | April     | 1,05  | 1,31   | 1,05 | 1,31   | 2,18  | 1,59   | 2,18 | 1,59   | 1,16  | 0,97   | 1,40 | 1,01   |

|           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| May       | 2,36 | 1,83 | 2,11 | 1,56 | 0,25 | 0,19 | 0,91 | 0,58 | 0,84 | 0,43 | 2,15 | 0,85 |
| June      | 1,23 | 1,17 | 1,68 | 1,17 | 0,48 | 0,37 | 0,93 | 0,53 | 1,86 | 1,43 | 2,65 | 1,87 |
| July      | 2,97 | 2,97 | 3,04 | 2,10 | 2,67 | 2,66 | 2,70 | 1,53 | 1,73 | 0,93 | 0,89 | 0,52 |
| August    |      |      |      |      |      |      |      |      | 2,24 | 1,29 | 2,48 | 1,09 |
| September |      |      |      |      |      |      |      |      | 1,27 | 1,02 | 2,15 | 1,40 |

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel di atas, faktor koreksi yang dihasilkan menggunakan metode *Linear Scaling* (LS) dan *Local Intensity Scaling* (LIS) menunjukkan nilai yang bervariasi antarperiode, antarpos pengamatan, serta antara produk satelit GPM IMERG dan CHIRPS. Nilai faktor koreksi yang lebih besar dari 1 menunjukkan bahwa data curah hujan satelit cenderung lebih rendah dibandingkan data observasi (*underestimate*), sehingga diperlukan faktor pengali untuk meningkatkan nilai curah hujan satelit. Sebaliknya, faktor koreksi yang lebih kecil dari 1 menunjukkan bahwa data satelit cenderung lebih tinggi dibandingkan data observasi (*overestimate*), sehingga diperlukan penyesuaian ke arah yang lebih rendah. Sementara itu, nilai faktor koreksi yang mendekati 1 menunjukkan bahwa besarnya curah hujan satelit relatif mendekati data observasi.

Pada periode pengamatan tahun 2023, faktor koreksi umumnya berada di sekitar nilai 1, meskipun terdapat kondisi yang berbeda pada Oktober 2023. Pada Pos 1, faktor koreksi GPM sebesar 0,89 untuk LS dan 0,79 untuk LIS, sedangkan faktor koreksi CHIRPS tidak dapat ditentukan (TT). Pada Pos 2, faktor koreksi LS untuk GPM mencapai 6,31, sementara faktor koreksi lainnya tidak dapat ditentukan. Nilai TT menunjukkan bahwa faktor koreksi tidak dapat dihitung karena nilai yang menjadi penyebut dalam perhitungan bernilai nol. Kondisi tersebut berkaitan dengan karakteristik data pada periode yang tersedia, terutama ketika curah hujan satelit bernilai nol atau sangat kecil dibandingkan data observasi.

Selain itu, data pada Oktober 2023 hanya tersedia selama tiga hari pengamatan. Jumlah data yang terbatas menyebabkan faktor koreksi lebih sensitif terhadap nilai curah hujan pada masing-masing hari yang tersedia. Meskipun April 2024 juga hanya memiliki tiga hari pengamatan, faktor koreksi yang dihasilkan tidak menunjukkan nilai yang ekstrem seperti pada Oktober 2023. Hal ini menunjukkan bahwa keterbatasan jumlah data tidak selalu menghasilkan faktor koreksi yang tinggi, tetapi dapat meningkatkan sensitivitas hasil perhitungan terhadap karakteristik curah hujan pada periode yang tersedia. Oleh karena itu, faktor koreksi pada periode dengan jumlah data yang terbatas perlu diinterpretasikan secara hati-hati dan tidak dianggap sepenuhnya mewakili karakteristik curah hujan selama satu bulan.

Faktor koreksi yang relatif tinggi juga terlihat pada Maret 2024. Pada Pos 1, faktor koreksi GPM sebesar 3,35 untuk LS dan 4,46 untuk LIS, sedangkan CHIRPS menghasilkan faktor koreksi sebesar 6,54 untuk LS dan 6,53 untuk LIS. Kondisi serupa terlihat pada Pos 2, dengan faktor koreksi GPM sebesar 2,31 pada kedua metode, sedangkan CHIRPS sebesar 4,31 untuk LS dan 3,23 untuk LIS. Tingginya faktor koreksi pada periode tersebut menunjukkan bahwa estimasi curah hujan kedua produk satelit cenderung lebih rendah dibandingkan curah hujan observasi. Pada Pos 1, kondisi ini terlihat jelas pada 7 Maret 2024 ketika curah hujan observasi mencapai 500,7 mm, sedangkan GPM IMERG dan CHIRPS masing-masing mencatat 121,740 mm dan 58,773 mm. Perbedaan yang besar tersebut menyebabkan diperlukan faktor pengali yang lebih tinggi untuk menyesuaikan data satelit terhadap data observasi.

Pada periode selanjutnya, faktor koreksi masih menunjukkan pola yang berfluktuasi. Beberapa periode menghasilkan faktor koreksi di bawah 1, sedangkan periode lainnya menghasilkan faktor koreksi di atas 1. Pada Agustus hingga Oktober 2024, misalnya, sebagian besar faktor koreksi berada di atas 1, baik pada GPM IMERG maupun CHIRPS. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa besarnya bias data satelit tidak bersifat tetap dari waktu ke waktu. Perbedaan nilai faktor koreksi antara Pos 1, Pos 2, dan Pos

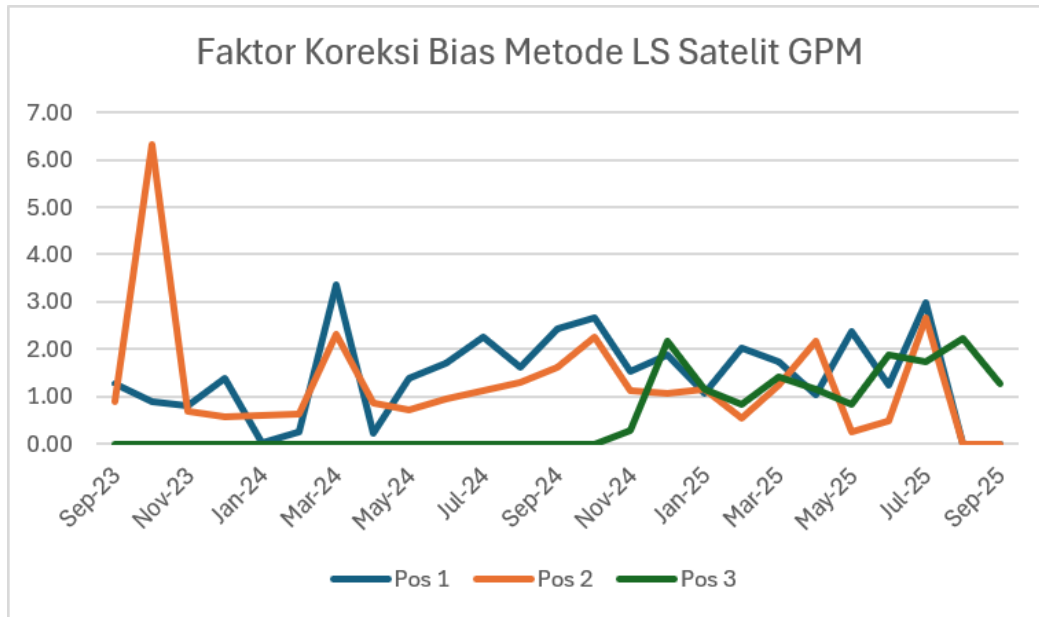
3 juga menunjukkan bahwa besarnya penyesuaian yang diperlukan dapat berbeda pada setiap lokasi pengamatan.

Perbedaan faktor koreksi antara metode LS dan LIS menunjukkan bahwa kedua metode memberikan tingkat penyesuaian yang berbeda terhadap data curah hujan satelit. Demikian pula, GPM IMERG dan CHIRPS tidak menunjukkan pola faktor koreksi yang selalu sama pada setiap periode dan lokasi. Pada periode tertentu CHIRPS membutuhkan faktor koreksi yang lebih besar dibandingkan GPM IMERG, sedangkan pada periode lainnya terjadi kondisi sebaliknya. Hal tersebut menunjukkan bahwa karakteristik bias kedua produk satelit dapat berubah menurut periode dan lokasi pengamatan.

Secara keseluruhan, variasi faktor koreksi menunjukkan bahwa bias data curah hujan GPM IMERG dan CHIRPS memiliki karakteristik temporal dan spasial. Oleh karena itu, penggunaan faktor koreksi yang disesuaikan berdasarkan periode, lokasi pengamatan, produk satelit, dan metode koreksi diperlukan untuk menghasilkan data curah hujan terkoreksi yang lebih mendekati data observasi. Namun, besar atau kecilnya faktor koreksi belum dapat digunakan secara langsung untuk menentukan metode koreksi maupun produk satelit yang paling baik. Efektivitas metode LS dan LIS selanjutnya perlu ditinjau berdasarkan hasil validasi data setelah dilakukan koreksi bias.

#### 4.5.1 Faktor Koreksi Bias Metode *Linear Scaling* (LS) Satelit GPM

Faktor koreksi bias metode *Linear Scaling* (LS) pada data curah hujan satelit GPM dianalisis untuk mengetahui variasi besarnya penyesuaian terhadap data observasi pada masing-masing pos pengamatan. Perubahan nilai faktor koreksi pada Pos 1, Pos 2, dan Pos 3 selama periode September 2023 hingga September 2025 disajikan pada **Gambar 4.19**.



**Gambar 4.19** Variasi Faktor Koreksi Bias Metode *Linear Scaling* (LS) pada Data Curah Hujan Satelit GPM di Setiap Pos Pengamatan Periode September 2023–September 2025

Gambar di atas menunjukkan perubahan nilai faktor koreksi metode *Linear Scaling* (LS) pada data curah hujan satelit GPM di ketiga pos pengamatan selama periode September 2023 hingga September 2025. Nilai faktor koreksi LS diperoleh dari perbandingan antara rata-rata curah hujan observasi dengan rata-rata curah hujan satelit pada setiap bulan. Faktor koreksi yang lebih besar dari 1 menunjukkan bahwa data GPM *underestimate* curah hujan sehingga perlu ditingkatkan, sedangkan faktor koreksi lebih kecil dari 1 menunjukkan bahwa GPM *overestimate* curah hujan sehingga nilai curah hujan perlu dikurangi.

Secara umum, nilai faktor koreksi GPM berfluktuasi pada ketiga pos pengamatan, yang menunjukkan bahwa tingkat bias GPM berubah mengikuti variasi kondisi hujan setiap bulan. Dibandingkan Pos 1 dan Pos 3, Pos 2 memperlihatkan fluktuasi yang paling besar, terutama pada Oktober 2023 dengan nilai faktor koreksi mencapai sekitar 6,31. Nilai yang sangat tinggi tersebut mengindikasikan bahwa pada periode tersebut GPM mengestimasi curah hujan jauh lebih rendah dibandingkan data observasi, sehingga diperlukan koreksi yang cukup besar agar hasil estimasi mendekati kondisi sebenarnya.

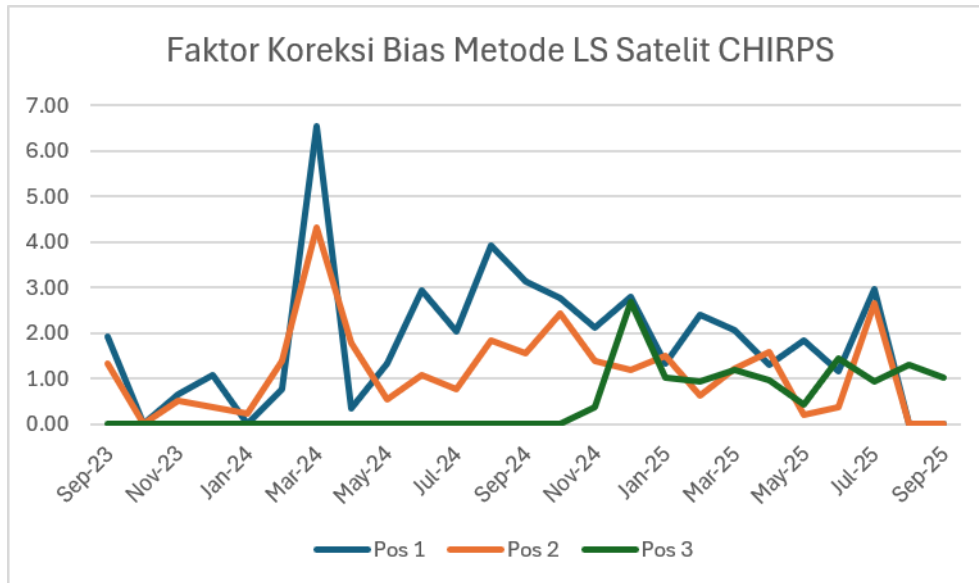
Pada Pos 1, faktor koreksi umumnya berada pada kisaran 1–3, dengan peningkatan yang cukup tinggi pada Maret 2024, September–Oktober 2024, dan Juli 2025. Hal ini menunjukkan bahwa pada periode tersebut GPM cenderung *underestimate* curah hujan di lokasi dengan elevasi lebih tinggi sehingga memerlukan faktor pengali yang lebih besar.

Sementara itu, Pos 3 menunjukkan pola yang relatif lebih stabil dibandingkan kedua pos lainnya. Sebagian besar nilai faktor koreksi berada di sekitar 1–2, meskipun pada beberapa bulan, seperti Desember 2024, Juni 2025, dan Agustus 2025, nilai faktor koreksi meningkat hingga di atas 2. Kondisi ini menunjukkan bahwa secara umum estimasi GPM pada Pos 3 lebih mendekati data observasi, tetapi masih memerlukan penyesuaian pada periode-periode tertentu.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa besarnya faktor koreksi *Linear Scaling* berbeda pada setiap lokasi dan waktu pengamatan, yang mengindikasikan bahwa bias data GPM tidak bersifat konstan. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh variasi karakteristik hujan, kondisi atmosfer, serta perbedaan topografi pada masing-masing lokasi penelitian. Oleh karena itu, penerapan faktor koreksi secara bulanan menjadi penting untuk meningkatkan kesesuaian data GPM terhadap data observasi sebelum digunakan dalam analisis hidrologi.

#### 4.5.2 Faktor Koreksi Bias Metode *Linear Scaling* (LS) Satelit CHIRPS

Faktor koreksi bias metode *Linear Scaling* (LS) pada data curah hujan satelit CHIRPS dianalisis untuk mengetahui variasi besarnya penyesuaian terhadap data observasi pada masing-masing pos pengamatan. Perubahan nilai faktor koreksi pada Pos 1, Pos 2, dan Pos 3 selama periode September 2023 hingga September 2025 disajikan pada Gambar 4.20.



**Gambar 4.20** Variasi Faktor Koreksi Bias Metode *Linear Scaling* (LS) pada Data Curah Hujan Satelit CHIRPS di Setiap Pos Pengamatan Periode September 2023–September 2025

Gambar di atas menunjukkan variasi nilai faktor koreksi metode *Linear Scaling* (LS) pada data curah hujan satelit CHIRPS di tiga pos pengamatan selama periode September 2023 hingga September 2025. Faktor koreksi diperoleh dari perbandingan antara rata-rata curah hujan observasi dengan rata-rata curah hujan CHIRPS pada setiap bulan. Nilai faktor koreksi lebih dari 1 menunjukkan bahwa CHIRPS *underestimate* curah hujan sehingga nilai curah hujan perlu ditingkatkan, sedangkan nilai kurang dari 1 menunjukkan bahwa CHIRPS *overestimate* curah hujan sehingga diperlukan penurunan nilai curah hujan hasil estimasi.

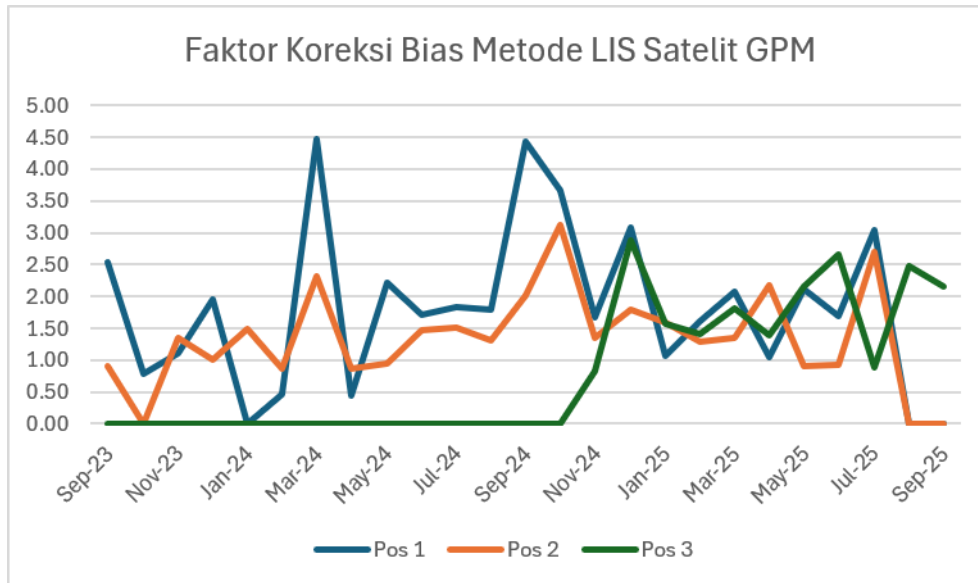
Berdasarkan Gambar di atas, faktor koreksi CHIRPS menunjukkan fluktuasi yang cukup besar pada seluruh pos pengamatan. Pos 1 memiliki variasi faktor koreksi paling tinggi dibandingkan Pos 2 dan Pos 3. Puncak faktor koreksi terjadi pada Maret 2024 dengan nilai sekitar 6,54, kemudian kembali meningkat pada Juni–September 2024 dan Juli 2025. Nilai faktor koreksi yang tinggi tersebut menunjukkan bahwa pada periode tersebut CHIRPS cenderung *underestimate* curah hujan sehingga diperlukan penyesuaian yang cukup besar agar hasil estimasi mendekati data observasi.

Pada Pos 2, pola perubahan faktor koreksi relatif mengikuti Pos 1, tetapi dengan besaran yang lebih kecil. Nilai faktor koreksi tertinggi juga terjadi pada Maret 2024, yaitu sekitar 4,31, kemudian berfluktuasi pada kisaran 1–2 pada sebagian besar periode pengamatan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun CHIRPS masih mengalami bias, tingkat penyimpangannya tidak sebesar yang terjadi di Pos 1.

Sementara itu, Pos 3 memperlihatkan pola yang lebih stabil dibandingkan dua pos lainnya. Nilai faktor koreksi umumnya berada pada kisaran 1–2, dengan peningkatan pada Desember 2024, Mei–Juli 2025, dan kembali menurun pada akhir periode penelitian. Stabilitas tersebut menunjukkan bahwa estimasi curah hujan CHIRPS di Pos 3 relatif lebih mendekati data observasi dibandingkan di Pos 1.

Secara keseluruhan, faktor koreksi LS pada CHIRPS menunjukkan variasi yang lebih besar dibandingkan GPM, terutama pada Pos 1 yang berada di daerah dengan elevasi lebih tinggi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa CHIRPS memerlukan penyesuaian yang lebih besar untuk mengurangi bias estimasi curah hujan pada wilayah tersebut. Perbedaan faktor koreksi antarpos menunjukkan bahwa karakteristik bias CHIRPS dipengaruhi oleh variasi topografi dan kondisi hujan lokal, sehingga penerapan faktor koreksi secara spesifik pada setiap lokasi menjadi penting untuk meningkatkan akurasi data satelit sebelum digunakan dalam analisis hidrologi.

**4.5.3 Faktor Koreksi Bias Metode *Local Intensity Scaling* (LIS) Satelit GPM**  
Faktor koreksi bias metode *Local Intensity Scaling* (LIS) pada data curah hujan satelit GPM dianalisis untuk mengetahui variasi penyesuaian intensitas curah hujan terhadap data observasi pada masing-masing pos pengamatan. Perubahan nilai faktor koreksi LIS pada Pos 1, Pos 2, dan Pos 3 selama periode September 2023 hingga September 2025 disajikan pada Gambar 4.21.



**Gambar 4.21** Variasi Faktor Koreksi Bias Metode *Local Intensity Scaling* (LIS) pada Data Curah Hujan Satelit GPM di Setiap Pos Pengamatan Periode September 2023–September 2025

Gambar di atas, menunjukkan variasi faktor koreksi yang dihasilkan oleh metode *Local Intensity Scaling* (LIS) pada data curah hujan satelit GPM di ketiga pos pengamatan selama periode September 2023 hingga September 2025. Berbeda dengan metode *Linear Scaling* (LS) yang hanya menggunakan perbandingan rata-rata curah hujan, metode LIS juga mempertimbangkan intensitas hujan berdasarkan nilai ambang (*threshold*) sehingga koreksi yang dihasilkan lebih mampu menyesuaikan karakteristik kejadian hujan.

Berdasarkan Gambar di atas, nilai faktor koreksi LIS pada data GPM mengalami fluktuasi yang cukup besar pada setiap lokasi pengamatan. Secara umum, Pos 1 menunjukkan variasi faktor koreksi yang paling tinggi dibandingkan Pos 2 dan Pos 3. Nilai faktor koreksi meningkat tajam pada Maret 2024 hingga sekitar 4,46, kemudian kembali mencapai nilai tinggi pada September–Oktober 2024 dengan nilai sekitar 4,44 dan 3,61. Nilai faktor koreksi yang tinggi tersebut menunjukkan bahwa pada periode tersebut GPM masih mengestimasi intensitas hujan lebih rendah dibandingkan data observasi sehingga diperlukan penyesuaian yang cukup besar.

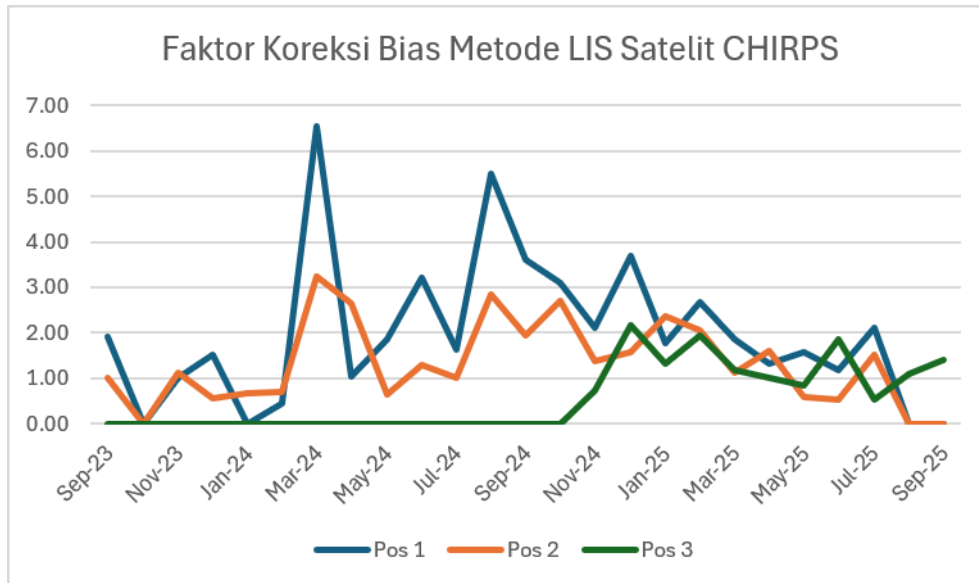
Pada Pos 2, faktor koreksi LIS menunjukkan pola fluktuasi yang lebih rendah dibandingkan Pos 1. Sebagian besar nilai faktor koreksi berada pada kisaran 1–2, meskipun terjadi peningkatan pada Maret 2024 hingga sekitar 3,23 dan kembali meningkat pada Juli 2025. Hal ini menunjukkan bahwa estimasi GPM pada Pos 2 relatif lebih mendekati data observasi, tetapi masih memerlukan koreksi pada periode-periode dengan intensitas hujan tinggi.

Sementara itu, Pos 3 memperlihatkan pola yang berbeda dibandingkan dua lokasi lainnya. Pada awal periode penelitian nilai faktor koreksi relatif kecil, kemudian mulai meningkat sejak akhir tahun 2024 dan mencapai kisaran 2–3 pada beberapa bulan di tahun 2025. Kondisi ini menunjukkan bahwa tingkat bias GPM di Pos 3 lebih rendah pada awal periode penelitian, namun meningkat pada periode berikutnya sehingga diperlukan penyesuaian terhadap intensitas hujan yang diestimasi oleh satelit.

Secara keseluruhan, hasil faktor koreksi metode LIS menunjukkan bahwa besarnya koreksi yang diperlukan berbeda pada setiap lokasi dan waktu pengamatan. Variasi tersebut menunjukkan bahwa bias estimasi intensitas hujan GPM tidak bersifat konstan, melainkan dipengaruhi oleh karakteristik hujan bulanan serta kondisi lokal di masing-masing pos pengamatan. Dengan mempertimbangkan intensitas kejadian hujan, metode LIS mampu memberikan koreksi yang lebih adaptif terhadap variasi curah hujan dibandingkan metode yang hanya menggunakan rata-rata curah hujan.

#### 4.5.4 Faktor Koreksi Bias Metode *Local Intensity Scaling* (LIS) Satelit CHIRPS

Faktor koreksi bias metode *Local Intensity Scaling* (LIS) pada data curah hujan satelit CHIRPS dianalisis untuk mengetahui variasi penyesuaian intensitas curah hujan terhadap data observasi pada masing-masing pos pengamatan. Perubahan nilai faktor koreksi LIS pada Pos 1, Pos 2, dan Pos 3 selama periode September 2023 hingga September 2025 disajikan pada Gambar 4.22.



**Gambar 4.22** Variasi Faktor Koreksi Bias Metode *Local Intensity Scaling* (LIS) pada Data Curah Hujan Satelit CHIRPS di Setiap Pos Pengamatan Periode September 2023–September 2025

Gambar di atas menunjukkan variasi nilai faktor koreksi yang dihasilkan oleh metode *Local Intensity Scaling* (LIS) pada data curah hujan satelit CHIRPS di tiga pos pengamatan selama periode September 2023 hingga September 2025. Seperti pada metode LIS untuk GPM, faktor koreksi pada CHIRPS dihitung dengan mempertimbangkan intensitas kejadian hujan berdasarkan nilai ambang, sehingga koreksi yang diberikan tidak hanya memperbaiki nilai rata-rata curah hujan, tetapi juga distribusi intensitas hujan.

Berdasarkan Gambar di atas, faktor koreksi LIS pada CHIRPS menunjukkan fluktuasi yang cukup besar pada seluruh pos pengamatan. Pos 1 memiliki variasi faktor koreksi yang paling tinggi dibandingkan Pos 2 dan Pos 3. Nilai faktor koreksi mencapai puncaknya pada Maret 2024 dengan nilai sekitar 6,53, kemudian kembali meningkat pada Juli 2024 hingga sekitar 5,48. Nilai faktor koreksi yang tinggi tersebut menunjukkan bahwa pada periode tersebut CHIRPS cenderung meng-*underestimate* intensitas curah hujan sehingga diperlukan penyesuaian yang cukup besar agar hasil estimasi lebih mendekati data observasi.

Pada Pos 2, faktor koreksi menunjukkan pola yang lebih stabil dibandingkan Pos 1, meskipun masih terjadi fluktuasi pada beberapa periode. Puncak faktor koreksi terjadi pada Maret 2024 dengan nilai sekitar 3,23, kemudian berfluktuasi pada kisaran 1–3 hingga pertengahan tahun 2025. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat bias CHIRPS pada Pos 2 relatif lebih kecil dibandingkan Pos 1, namun tetap memerlukan koreksi terutama pada periode dengan intensitas hujan yang tinggi.

Sementara itu, Pos 3 memperlihatkan pola faktor koreksi yang relatif rendah pada awal periode penelitian, kemudian mulai meningkat sejak akhir tahun 2024. Sebagian besar nilai faktor koreksi berada pada kisaran 1–2, dengan peningkatan pada beberapa bulan di tahun 2025. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa estimasi curah hujan CHIRPS pada Pos 3 relatif lebih mendekati data observasi dibandingkan Pos 1, meskipun masih terdapat bias yang perlu dikoreksi pada periode tertentu.

Secara umum, hasil faktor koreksi metode LIS menunjukkan bahwa CHIRPS memerlukan faktor koreksi yang lebih besar dibandingkan GPM, terutama pada Pos 1 yang memiliki elevasi lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa bias estimasi curah hujan CHIRPS lebih besar sehingga diperlukan penyesuaian yang lebih signifikan untuk mendekati data observasi. Perbedaan faktor koreksi antarpos juga menunjukkan bahwa karakteristik bias dipengaruhi oleh kondisi topografi dan variasi hujan pada masing-masing lokasi penelitian.